

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

G 378US  
J1036 U.S. PTO  
09/817058  
03/27/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年11月 6日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-337472

出 願 人

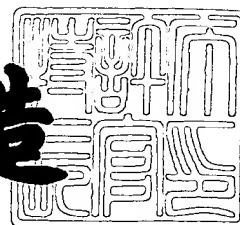
Applicant (s):

三菱電機株式会社

2000年12月 1日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3098474

【書類名】 特許願

【整理番号】 526509JP01

【提出日】 平成12年11月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 多田 仁史

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 高木 和久

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082175

【弁理士】

【氏名又は名称】 高田 守

【電話番号】 03-5379-3088

【選任した代理人】

【識別番号】 100066991

【弁理士】

【氏名又は名称】 葛野 信一

【電話番号】 03-5379-3088

【選任した代理人】

【識別番号】 100106150

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 英樹

【電話番号】 03-5379-3088

【選任した代理人】

【識別番号】 100108372

【弁理士】

【氏名又は名称】 谷田 拓男

【電話番号】 03-5379-3088

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 049397

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光変調器およびその製造方法並びに光半導体装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 主面の一部に露呈面を有する半絶縁性の半導体基板と、

この半導体基板上に配設され、第 1 導電型の第 1 クラッド層、光吸収層、及び第 2 導電型の第 2 クラッド層を有するとともに、その側面に頂部から上記半導体基板まで一様に平坦な平坦部を有し、この平坦部が半導体基板の上記露呈面に接触した光導波路リッジと、

この光導波路リッジ及び上記半導体基板を覆うとともに上記光導波路リッジの頂部上に第 1 の開口を、また半導体基板の上記露呈面を除く半導体基板上に第 2 の開口を有した誘電体膜と、

この誘電体膜上に配設されるとともに上記第 1 の開口を介して上記光導波路リッジの頂部上に配設され、上記誘電体膜表面に密着して光導波路リッジ側面の上記平坦部上に延在し、半導体基板の上記露呈面を経由して半導体基板上に端部が配設された第 1 の電極と、

上記半導体基板上に配設され、上記誘電体膜に配設された第 2 の開口を介して上記第 1 クラッド層と接続された第 2 の電極と、  
を備えた光変調器。

【請求項 2】 光導波路リッジの両側に半導体基板の露呈面を有し、光導波路リッジの両側面に平坦部を有するとともに、第 1 の電極が光導波路リッジの両側に延在し、端部が光導波路リッジの両側に配設されたことを特徴とする請求項 1 記載の光変調器。

【請求項 3】 第 1 の電極が配設された領域を除いて、第 1 クラッド層が光導波路リッジの外側の半導体基板上にさらに延在したことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光変調器。

【請求項 4】 第 2 の電極が第 1 クラッド層の延在した部分に第 2 の開口を介して配設されたことを特徴とする請求項 3 記載の光変調器。

【請求項 5】 光導波路リッジの側面の平坦部が半導体基板の露呈面に接触した部分を含む光導波路リッジ基底部であって、誘電体膜と第 1 の電極との間に

誘電体をさらに配設したことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の光変調器。

【請求項 6】 第 1 の電極が配設された領域を除き光導波路リッジの直下を含む半導体基板に配設された第 1 導電型の導電層をさらに備えるとともに、この導電層に誘電体膜の第 2 の開口を介して第 2 の電極が配設されたことを特徴とする請求項 1 記載の光変調器。

【請求項 7】 光導波路リッジ側面と誘電体膜との間に上記光導波路リッジの幅寸法よりも薄い層厚の高抵抗半導体層が配設されたことを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の光変調器。

【請求項 8】 請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の光変調器と、この光変調器の光吸収層に光軸を一致させた半導体レーザ素子と、を備えた光半導体装置。

【請求項 9】 半導体レーザ素子が半絶縁性の半導体基板上に光導波路リッジを有するリッジ型であって、光変調器と同一基板上に配設されたことを特徴とする請求項 8 記載の光半導体装置。

【請求項 10】 半絶縁性の半導体基板上に第 1 導電型の第 1 クラッド層、光吸収層、及び第 2 導電型の第 2 クラッド層を形成する第 1 の工程と、

写真製版工程とエッチングにより半導体基板の露呈面を形成するとともに、側面に頂部から半導体基板まで一様に平坦な平坦部を有し、この平坦部が半導体基板の露呈面に接触した光導波路リッジを形成する第 2 の工程と、

半導体基板上に誘電体膜を形成し、光導波路リッジ頂部に第 1 の開口を、半導体基板の露呈面を除く半導体基板上に第 2 の開口を形成する第 3 の工程と、

第 1 の開口を介して上記光導波路リッジの頂部上に配設され、誘電体膜表面に密着して光導波路リッジ側面の平坦部上に延在し、半導体基板の上記露呈面を経由して半導体基板上に端部が配設された第 1 の電極を形成する第 4 の工程と、

第 2 の開口を介して第 1 クラッド層と接続された第 2 の電極を形成する第 5 の工程と、を含む光変調器の製造方法。

【請求項 11】 第 2 の工程において光導波路リッジの両側に半導体基板の

露呈面を形成し、光導波路リッジの両側面に平坦部を形成するとともに、第4の工程において第1の電極を光導波路リッジの両側に延在させ、光導波路リッジの両側に端部を形成することを特徴とする請求項10記載の光変調器の製造方法。

【請求項12】 第1の工程に先立って、半絶縁性の半導体基板の一部に第1導電型の導電層を形成する工程をさらに含み、第2の工程において半導体基板の露呈面を形成するとき導電層の露呈面も形成し、第5の工程において、第2の電極が第2の開口を介して導電層上に形成されることを特徴とする請求項10または11に記載の光変調器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、光変調器およびその製造方法並びに光半導体装置に係り、特に光通信用として用いられる光変調器とその製造方法並びに光変調器を組み合わせた光半導体装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバーを用いた公衆通信網の普及には、半導体レーザの高性能化とこの半導体レーザを安価に製造するために歩留りをよくすることが重要である。

特に半導体レーザの高性能化には、情報量の増大に対応するためのレーザ光の高速変調が必須の要件である。このレーザ光の高速変調には、変調時の波長の変動を小さくして長距離の伝送を可能にするために、これまでの単一モード半導体レーザの注入電流を変えて直接変調する方式では、注入キャリア密度の変動による波長変動（波長チャープング）が大きいため、たとえば、10Gbps以上の長距離・高速変調には使用することができない。

【0003】

そこで10Gbpsの伝送システムではこれまでの直接変調方式に変えて外部変調方式が採用される。これは通常半導体レーザを一定強度で発振させておいて、光の透過量をオン・オフできる波長チャープングの小さい光変調器を通すことによって変調を行う方式である。

## 【 0 0 0 4 】

この外部変調方式に用いられる光変調器には、電界吸収型光変調器(以下 E A M (Electroabsorption Modulator) という)が使用され、単層の厚い光吸収層を用いるものではフランツ・ケルディッシュ効果による、また多重量子井戸構造を用いるものではシュタルクシフト効果による、吸収スペクトル変化を用いて消光を行う。すなわち、光変調器では印加される逆バイアス電圧に応じてレーザ光の吸収が変化するため、光変調器に接続された高周波電気回路に変調信号電圧を印加すると、光変調器の出射端面から出射されるレーザ光には信号電圧に対応した強度変調が施されることになる。

## 【 0 0 0 5 】

さらに次世代の 2 0 G b p s 以上の高速通信においても、低チャープで、小型で、低電圧動作等のメリットから超高速半導体光変調器が注目されている。このような用途に用いられる超高速の半導体光変調器を実現するためには、光変調器素子の素子容量を小さくすることが重要な課題になる。

## 【 0 0 0 6 】

## 【発明が解決しようとする課題】

図 2 5 は従来の光変調器の斜視図、図 2 6 はこの光変調器の X X V I - X X V I 断面における断面図である。

図 2 5、図 2 6 において、2 0 0 は光変調器、2 0 2 は n 型 I n P 基板(以下、n 型導電性を“n-”、p 型導電性を“p-”で表す。)、2 0 4 は n-I n P クラッド層、2 0 6 は光吸収層、2 0 8 は p-I n P クラッド層、2 1 0 は p-I n G a A s コンタクト層、2 1 2 は S i O<sub>2</sub> などの表面保護膜、2 1 4 はポリイミド、2 1 6 は p 側オーミック電極、2 1 6 a はボンディングパッドで、2 1 8 は n 側オーミック電極である。

## 【 0 0 0 7 】

次に従来の光変調器の製造方法について説明する。

図 2 7、図 2 8、図 2 9 は製造工程に従って示した光変調器の断面図である。

まず、n-I n P 基板 2 0 2 上に、n-I n P クラッド層 2 0 4、光吸収層 2 0 6、p-I n P クラッド層 2 0 8、p-I n G a A s コンタクト層 2 1 0 をエ

ピタキシャル成長する。次にSiO<sub>2</sub>等の絶縁膜を表面に形成し、幅2～3ミクロンメートル( $\mu\text{m}$ )のストライプ状のマスクパターン220を形成する(図27参照)。

#### 【0008】

次いで、マスクパターン220をマスクとして、ドライエッチングにより光吸収層206を越える程度、たとえば幅2～3 $\mu\text{m}$ の深さまでエッチングし、リッジ222を形成する(図28参照)。

次に、SiO<sub>2</sub>膜等の表面保護膜212を形成し、ポリイミド214を塗布して、表面を平坦化する。次にリッジ222の頂部にオーミックコンタクトのための開口224を形成する(図29参照)。

#### 【0009】

次にp側オーミック電極216及びn側オーミック電極218を形成し、図25、図26に示された光変調器として完成する。

このように形成された、光変調器200の素子容量は、光吸収層206の容量とボンディングパッド216aの容量の和となる。しかし光吸収層206の容量は、光変調器200のダイナミックレンジとか消光特性を満足させるための素子性能で決定されるので、ある一定の容量までしか小さくできない。

#### 【0010】

またボンディングパッド216aの大きさも、ボンディングワイヤの接着面積を考慮すると、50 $\mu\text{m}$ ×50 $\mu\text{m}$ 程度の面積が限界で、これより小さくするのが困難である。そこでボンディングパッド216aを絶縁性のポリイミド214の表面に形成することにより、ボンディングパッド216aの容量を小さくしていた。

しかしながら、さらに高速変調が要求される40Gbps以上の光変調器では、素子容量として0.1pf以下が求められており、従来の光変調器構造、すなわちポリイミド214の膜厚を大きくして容量を下げるという構造では、ポリイミド214の形成が困難になるという問題があった。

#### 【0011】

この発明は上記の問題点を解消するためになされたもので、第1の目的は、素



子容量が小さく高周波性能に優れた光変調器を提供することであり、第2の目的は、素子容量が小さく高周波性能に優れた光変調器を簡単な工程により製造する製造方法を提供することであり、さらに高周波性能に優れた光変調器を備えた光半導体装置を提供することである。

なお公知文献としては、特開平3-263388号公報がある。これは能動層を含む半導体多層構造のメサストライプとこのメサストライプの両側にInP高抵抗層を配した光変調器において、光変調器の高速性能を高めるために、メサストライプの上部と高抵抗半導体基板上に設けられたボンディングパッドとをエアブリッジ構造で接続することにより素子容量を小さくしたものであり、以下に述べる本発明の光変調器とリッジ構造が相違する。

#### 【0012】

##### 【課題を解決するための手段】

この発明に係る光変調器は、主面の一部に露呈面を有する半絶縁性の半導体基板と、この半導体基板上に配設され、第1導電型の第1クラッド層、光吸収層、及び第2導電型の第2クラッド層を有するとともに、その側面に頂部から半導体基板まで一様に平坦な平坦部を有し、この平坦部が半導体基板の露呈面に接触した光導波路リッジと、この光導波路リッジ及び半導体基板を覆うとともに光導波路リッジの頂部上に第1の開口を、また半導体基板の露呈面を除く半導体基板上に第2の開口を有した誘電体膜と、この誘電体膜上に配設されるとともに第1の開口を介して光導波路リッジの頂部上に配設され、誘電体膜表面に密着して光導波路リッジ側面の平坦部上に延在し、半導体基板の露呈面を経由して半導体基板上に端部が配設された第1の電極と、半導体基板上に配設され、誘電体膜に配設された第2の開口を介して上記第1クラッド層と接続された第2の電極と、を備えたもので、第1の電極に起因する容量は、半導体基板による容量となり、これを小さくすることができる。

#### 【0013】

さらに、光導波路リッジの両側に半導体基板の露呈面を有し、光導波路リッジの両側面に平坦部を有するとともに、第1の電極が光導波路リッジの両側に延在し、端部が光導波路リッジの両側に配設されたもので、第1の電極に基づく容量

のばらつきが少ない構成とすることができる。

【 0 0 1 4 】

さらに、第 1 の電極が配設された領域を除いて、第 1 クラッド層が光導波路リッジの外側の半導体基板上にさらに延在したもので、半導体基板の露呈面を形成するためのマスク合わせが容易になる。

【 0 0 1 5 】

さらに、第 2 の電極が第 1 クラッド層の延在した部分に第 2 の開口を介して配設されたもので、第 2 の電極と第 1 クラッド層との接続が容易になる。

【 0 0 1 6 】

さらに、光導波路リッジの側面の平坦部が半導体基板の露呈面に接触した部分を含む光導波路リッジ基底部であって、誘電体膜と第 1 の電極との間に誘電体をさらに配設したもので、第 1 の電極と光導波路リッジ側面の第 1 クラッド層とに起因する電気容量を小さくすることができる。

【 0 0 1 7 】

さらに、第 1 の電極が配設された領域を除き光導波路リッジの直下を含む半導体基板上に配設された第 1 導電型の導電層をさらに備えるとともに、この導電層に誘電体膜の第 2 の開口を介して第 2 の電極が配設されたもので、光導波路リッジの構成が簡単になる。

【 0 0 1 8 】

さらに、光導波路リッジ側面と誘電体膜との間に光導波路リッジの幅寸法よりも薄い層厚の高抵抗半導体層が配設されたもので、光導波路リッジの表面の保護をより確実にすることができる。

【 0 0 1 9 】

また、この発明に係る光半導体装置は、上記の光変調器のいずれか一つと、この光変調器の光吸収層に光軸を一致させた半導体レーザ素子と、を備えたもので、高周波特性に優れた光半導体装置を構成することができる。

【 0 0 2 0 】

さらに、半導体レーザ素子が半絶縁性の半導体基板上に光導波路リッジを有するリッジ型であって、光変調器と同一基板上に配設されたもので、半導体レーザ

素子と光変調器とをモノリシックに構成することができる。

【0021】

また、この発明に係る光変調器の製造方法は、半絶縁性の半導体基板上に第1導電型の第1クラッド層、光吸収層、及び第2導電型の第2クラッド層を形成する第1の工程と、写真製版工程とエッチングにより半導体基板の露呈面を形成するとともに、側面に頂部から半導体基板まで一様に平坦な平坦部を有し、この平坦部が半導体基板の露呈面に接触した光導波路リッジを形成する第2の工程と、半導体基板上に誘電体膜を形成し、光導波路リッジ頂部に第1の開口を、半導体基板の露呈面を除く半導体基板上に第2の開口を形成する第3の工程と、第1の開口を介して光導波路リッジの頂部上に配設され、誘電体膜表面に密着して光導波路リッジ側面の平坦部上に延在し、半導体基板の上記露呈面を経由して半導体基板上に端部が配設された第1の電極を形成する第4の工程と、第2の開口を介して第1クラッド層と接続された第2の電極を形成する第5の工程と、を含むもので、素子容量の少ない光変調器を簡単な工程で製造することができる。

【0022】

さらに、第2の工程において光導波路リッジの両側に半導体基板の露呈面を形成し、光導波路リッジの両側面に平坦部を形成するとともに、第4の工程において第1の電極を光導波路リッジの両側に延在させ、光導波路リッジの両側に端部を形成するもので、第1の電極形成に際してマスク合わせが簡単になる。

【0023】

さらに、第1の工程に先立って、半絶縁性の半導体基板の一部に第1導電型の導電層を形成する工程をさらに含み、第2の工程において半導体基板の露呈面を形成するとき導電層の露呈面も形成し、第5の工程において、第2の電極が第2の開口を介して導電層上に形成されるもので、光導波路リッジの形成と第1、第2の電極の設置面とを同時に形成でき、素子の製造工程が簡単になる。

【0024】

【発明の実施の形態】

実施の形態1.

この実施の形態1は、光導波路リッジの側面に、その頂部から半導体基板表面

まで一様に平坦な平坦部を設け、この平坦部が半導体基板の露呈面に接触する様にし、誘電体膜を介して、光導波路リッジの頂部から側面上をこの誘電体膜に密着させて第1の電極を設け、さらに延在させて半導体基板の露呈面に第1の電極の端部を設けたものである。

## 【0025】

図1はこの発明の実施の形態1に係る光変調器の斜視図である。

図1において、10は光変調器、12は半導体基板としての半絶縁性InP基板、14は光導波路リッジ、16は誘電体膜としてのSiO<sub>2</sub>からなる表面保護膜で光導波路リッジ14および半導体基板12上を覆っている。18、20は第1、第2の開口としての表面保護膜の開口、22は第1の電極としてのp側電極で22aはその端部でボンディングパッド部、24は第2の電極としてのn側電極でこれはボンディングパッド部を兼ねている。p側電極22およびn側電極24は開口18、開口20を介して、表面保護膜16上に配設されている。

## 【0026】

図2は図1におけるII-II断面における光変調器の断面図、図3は図1の光変調器のIII-III断面における断面図である。

図2において、26はInP基板12上に配設された第1クラッド層としてのn側クラッド層である。このn側クラッド層26はn-InPで構成されている。

またこのn側クラッド層26の延長部26aは、光導波路リッジ14の一方の側面の外側に延びている。28はn側クラッド層26の上に形成された光吸収層で、InGaAsP/InGaAs(P)系材料からなるMQW構造をしている。このMQW構造はInGaAlAs/InAlAs系材料で構成されてもよい。

## 【0027】

30は光吸収層28上に配設されたp-InPからなる第2クラッド層としてのp側クラッド層、32はp側クラッド層30の上に配設されたp-InGaAsからなるコンタクト層、34は下地電極層で、コンタクト層32側からTi、Pt及びAuが積層されている。

光導波路リッジ14はn側クラッド層26、光吸収層28、p側クラッド層30、コンタクト層32、及び下地電極層34で構成されている。光導波路リッジ14の側面はその基底部で、一方はn側クラッド層26の延長部26aと、また他方の側面はInP基板12と接触している。InP基板12と接触している側の側面は、その一部にp側電極22の幅よりも広くコンタクト層32からInP基板12表面まで平坦な一平面で形成された平坦部14aを有し、この平坦部14aではn側クラッド層26が光導波路リッジ14側面から突出するような段差を形成していない。

## 【0028】

この光導波路リッジ14の上端表面の下地金属層34に開口18を介してp側電極22の一端が配設され、電氣的に接続されている。このp側電極22は表面保護膜16の表面に密着して光導波路リッジ14の上端から側面の平坦部14a上を光導波路リッジ14の基底部まで延在し、InP基板12の露呈面上を表面保護膜16の表面に密着して延長され、その端部が表面保護膜16を介してInP基板12の露呈面上でボンディングパッド部22aを形成している。

p側電極22は下地金属層34側からTi及びAuが積層され、必要に応じこの上にAuメッキ層が積層される。また下地金属層34を配設せずに直接コンタクト層上にp側電極22が配設される場合もある。

## 【0029】

n側クラッド層26の延長部26aの表面上は表面保護膜16で覆われているが、開口24を介してn側電極24が延長部26aの表面上に配設されn側クラッド層26と電氣的に接続している。

図3の断面は図2の断面と大略同じであるが、この図3の断面では光導波路リッジ14の上端表面の下地金属層34が表面保護膜16で覆われており、開口18および開口20を有していない点、及びp側電極22、n側電極24を有しない点が相違する。

## 【0030】

次に光変調器10の製造方法について説明する。

図4、図5、図6、および図7は製造工程に従って示した光変調器素子の断面

図である。

まず半絶縁性の  $\text{InP}$  基板 12 上に、 $n$  側クラッド層 26 としての  $n\text{-InP}$  層、 $\text{InGaAsP}/\text{InGaAs}(\text{P})$  系材料からなる MQW 構造の光吸収層 28、 $p$  側クラッド層 30 としての  $p\text{-InP}$  層、およびコンタクト層 32 としての  $p\text{-InGaAs}$  層を、エピタキシャル成長により積層する。

#### 【0031】

次にレジストを塗布し、写真製版工程により光導波方向に幅  $2\sim 3\ \mu\text{m}$  の帯状の開口を有するレジストパターン 38 を形成し、この上にスパッタリングにより  $\text{Ti}$ 、 $\text{Pt}$  及び  $\text{Au}$  を積層し、下地電極層 34 を形成する（図 4 参照）。

次に、帯状の下地電極層 34 を残して、リフトオフ法によりレジストパターン 38 を除去し、改めて帯状の下地電極層 34 を覆う誘電体膜、たとえば  $\text{SiO}_2$  膜、を形成し、下地電極層 34 を含む帯状の誘電体膜 40 のパターンを残して、他の部分をエッチングにより除去し、この誘電体膜 40 をリッジ形成マスクとして、ドライエッチングにより光吸収層 28 を越えるまで除去し、 $n$  側クラッド層 26 が露呈するまでエッチングする（図 5 参照）。

#### 【0032】

次に露呈した  $n$  側クラッド層 26 のうち、リッジの片側の  $n$  側クラッド層 26 をエッチングにより除去し、リッジの片側側面にコンタクト層 32 から  $\text{InP}$  基板 12 表面まで一様に平坦な平坦部 14a を有する光導波路リッジ 14 を形成する。

その後  $n$  側クラッド層 26 の延長部 26a、光導波路リッジ 14、および  $\text{InP}$  基板 12 上に表面保護膜 16 としての  $\text{SiO}_2$  膜を形成する（図 6 参照）。この表面保護膜 16 は  $\text{SiN}$  膜でもよい。

#### 【0033】

次いで、光導波路リッジ 14 の頂部、及び  $n$  側クラッド層 26 の延長部 26a において、表面保護膜 16 に開口 18 及び開口 20 を形成する（図 7 参照）。

その後、表面保護膜 16 上にレジストを塗布し、開口 18 を含む光導波路リッジ 14 の上表面から側面の平坦部 14a 上を經由して光導波路リッジ 14 の基底部まで下り、さらに  $\text{InP}$  基板 12 の露呈面上に延長する領域及び開口 20 を含

む領域のレジストを除去したレジストパターンを形成し、全面にスパッタリングにより電極層としてのTi膜およびAu膜を積層し、リフトオフ法によりレジストパターンとその上に積層された電極層を除去する。

#### 【0034】

これにより、開口18を介して下地電極層34と接続し、光導波路リッジ14の上表面から側面の平坦部14a上を表面保護膜16に密着して光導波路リッジ14の基底部まで延長し、さらに表面保護膜16を介してInP基板12の露呈面上に延長し、端部をボンディングパッド部22aとしたp側電極22を形成する。

また同じ工程で開口20を含む領域をボンディングパッドとしたn側電極24を形成する。その後InP基板12の厚みを100 $\mu$ mに研磨して図1、図2、及び図3で示された光変調器素子として完成する。

#### 【0035】

なお、上記の製造方法において、エピタキシャル成長層の上に帯状の下地電極層34を形成し（図4）、その後帯状の下地電極層34を覆う誘電体膜を形成しリッジ形成マスクとして、ドライエッチングによりリッジ形成を行う（図5）方法を述べたが、これに変えて次のような製造方法で行ってもよい。

エピタキシャル成長層を形成した後、まず誘電体膜の帯状パターンを形成し、この帯状パターンをエッチングマスクとしてドライエッチングにより、リッジ形成を行ない、その後リッジの片側のn側クラッド層を除去して、片側側面にコンタクト層32からInP基板12表面まで一様に平坦な平坦部14aを有する光導波路リッジ14を形成する。その後、帯状パターンを除去した後、リフトオフ法によりリッジ頂部に下地電極層34を形成する。さらにn側クラッド層26の延長部26a、光導波路リッジ14、およびInP基板12上に表面保護膜16としてのSiO<sub>2</sub>膜を形成する（図6参照）。

#### 【0036】

次に動作について説明する。

光変調器10には外部光学系（図示せず）からレーザ光が入射される。このレーザ光は光変調器10の光吸収層28の片方の端面に入射される。

一方、光変調器の p 側電極 2 2 のボンディングパッド 2 2 a に外部配線（図示せず）からの信号線（図示せず）が、n 側電極に接地線（図示せず）が接続され、p 側電極 2 2 に変調信号が入力される。p 側電極 2 2 に伝達された電気信号は、光変調器 1 4 の p クラッド層 3 6 と接地側の n 側クラッド層 3 2 との間で変調信号電圧として印加される。そしてこの変調信号電圧が光吸収層 2 8 に印加される。

光吸収層 2 8 に入射されたレーザ光は、この変調信号電圧に対応してオン・オフされ、変調される。

#### 【 0 0 3 7 】

変調されたレーザ光は光吸収層 2 8 の他方の端面からが出射される。この変調されたレーザ光がレンズ系を介して光ファイバに導波され、外部光学系に伝送される。

この実施の形態 1 の光変調器 1 0 においては、光導波路リッジ 1 4 の両側にポリイミド層を備えていない。光導波路リッジ 1 4 の側面は表面保護膜 1 6 に覆われていて、p 側電極 2 2 はこの表面保護膜 1 6 の表面に密着して光導波路リッジ 1 4 の上端から側面の平坦部 1 4 a 上を光導波路リッジ 1 4 の基底部まで延在し、さらに I n P 基板 1 2 の露呈面上を表面保護膜 1 6 の表面に密着して延長され、その端部が I n P 基板 1 2 の露呈面上でボンディングパッド部 2 2 a を形成している。

#### 【 0 0 3 8 】

従って、p 側電極 2 2 が極板として容量を持つ部分は、（１）ボンディングパッド部 2 2 a と（２）表面保護膜 1 6 を介して対向する n 側クラッド層 2 6 の側面とである。

まず（１）ボンディングパッド部 2 2 a では、I n P 基板の厚みが  $100\mu\text{m}$  程度、ボンディングパッド部 2 2 a の寸法が  $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$  とすると、この部分の容量は  $3\text{fF}$ （ $\text{fF}$  は  $10^{-15}\text{F}$ ）程度である。また（２）表面保護膜 1 6 を介して p 側電極 2 2 と n 側クラッド層 2 6 の側面とが対向する部分の容量は、n 側クラッド層 2 6 の膜厚を  $1\mu\text{m}$ 、p 側電極 2 2 の幅を  $10\mu\text{m}$  とし、表面保護膜 1 6 の厚みを  $0.2\mu\text{m}$  とすると、この部分で  $5\text{fF}$  程度となる。両者の



容量を併せると  $8 f F$  程度となる。

#### 【 0 0 3 9 】

これを従来の光変調器構造の容量と比較すると、実際に使用できそうなポリイミド層の膜厚として  $3 \mu m$  を設定し、ポリイミド層の上に  $50 \mu m \times 50 \mu m$  のボンディングパッド部が形成されたとして計算すると、このボンディングパッド部の容量は、約  $30 f F$  となる。

従ってこの実施の形態 1 に係る光変調器 10 は従来の光変調器に比べて、 $1/4$  程度に低減することができる。しかも p 側電極 22 が光導波路リッジ 14 の側面に配設された表面保護膜上をその表面に密着して配設されているので、構造が簡単で、製造方法も簡単な工程で形成することができる。

#### 【 0 0 4 0 】

##### 変形例

図 8 は光変調器 10 の変形例を示す光変調器の斜視図である。図 9 は図 8 の I X - I X 断面における光変調器の断面図である。図 8 の I X a - I X a 断面の断面図は図 2 と同じである。

また図 8 においては、図 1 のように表面保護膜 16 が明示されていないが、p 側電極 22、n 側電極 24 が開口 18 及び開口 20 を介して、それらの下層と接触している以外は、p 側電極 22、n 側電極 24 の下側には素子全面を覆う表面酸化膜 16 が設けられている。これは以下に述べる、図 10、図 11、図 13、図 23、および図 24 においても同様である。

#### 【 0 0 4 1 】

図 8 において、46 は光変調器、12a は I n P 基板 12 の露呈面である。光変調器 10 では n 側クラッド層 26 の延長部 26a は光導波路リッジ 14 の片方の側面の外側のみに延びていたが、この変調器 46 では、p 側電極 22 が形成された I n P 基板 12 の露呈面 12a を除いて、n 側クラッド層 26 の延長部 26a が光導波路リッジ 14 の両方の側面の外側に延びている。

n 側クラッド層 26 の延長部 26a は p 側電極 22 が形成される領域にさえなければ、容量が増加するわけではないので、n 側クラッド層 26 が形成される側の半導体基板上に延在していてもよい。n 側クラッド層 26 を完全に取り除く場

合に比べて、p 側電極 2 2 が形成される領域に干渉しない程度であれば、若干マスキ合わせが粗くてもよい。

#### 【 0 0 4 2 】

図 1 0 は光変調器 1 0 のもう一つの変形例を示す光変調器の斜視図である。

図 1 0 において、4 8 は光変調器、5 0 は n - I n P 層である。

光変調器 4 8 では、n 側クラッド層 2 6 の一部を除去する際に、光導波路リッジ 1 4 の n 側クラッド層 2 6 を電氣的に接続していなければ、I n P 基板 1 2 上に n - I n P 層 5 0 の様に残っていてもよく、またこの n - I n P 層 5 0 上に p 側電極 2 2 が形成されてもかまわない。

#### 【 0 0 4 3 】

##### 実施の形態 2

実施の形態 2 は、光導波路リッジの両側に半導体基板の露呈面を設けるとともに、光導波路リッジの両側面に、その頂部から半導体基板表面まで一様に平坦な平坦部を設け、この平坦部それぞれが半導体基板の露呈面に接触する様にし、誘電体膜を介して光導波路リッジの頂部から両側面の平坦部上をこの誘電体膜に密着させて第 1 の電極を延在させ、さらにこれを半導体基板の露呈面に延在させて光導波路リッジの両側に第 1 の電極の端部を設けたものである。

#### 【 0 0 4 4 】

図 1 1 はこの実施の形態 2 に係る光変調器の斜視図である。また図 1 2 は図 1 1 のこの光変調器の X I I - X I I 断面における断面図である。なお図 1 1 の X I I a - X I I a 断面における断面図は図 9 と同じである。

図 1 1 において、5 6 は光変調器、1 2 a はボンディングパッド部 2 2 a が設けられた基板露呈面、1 2 b は p 側電極のもう一方の端部 2 2 b を設けた基板露呈面である。

#### 【 0 0 4 5 】

図 1 1、及び図 1 2 において光導波路リッジ 1 4 は、その両側面それぞれの一部分に、コンタクト層 3 2 から I n P 基板 1 2 表面まで平坦な一平面で形成された平坦部 1 4 a を有し、この平坦部 1 4 a は光導波路リッジ 1 4 の基底部でそれぞれ基板露呈面 1 2 a、基板露呈面 1 2 b と接触している。

p 側電極 2 2 は、光導波路リッジ 1 4 の上表面で開口 1 8 を介して下地金属層 3 4 に接続され、表面保護膜 1 6 を介して光導波路リッジ 1 4 の両側面に設けられた平坦部 1 4 a 上を光導波路リッジ 1 4 の基底部に延長され、一方は表面保護膜 1 6 を介して基板露呈面 1 2 a 上を延長され、ボンディングパッド部 2 2 a が設けられている。他の一方は基板露呈面 1 2 b 上に端部 2 2 b が設けられている。

#### 【 0 0 4 6 】

光変調器 5 6 の製造方法は、実施の形態 1 に記載した光変調器 1 0 の製造方法において、n 側クラッド層 2 6 が露呈するまでエッチングする工程（図 5 参照）まで、同じである。

その次に光導波路リッジ 1 4 を形成するとき、露呈した n 側クラッド層 2 6 のうちリッジの両側の n 側クラッド層 2 6 の一部をエッチングにより除去し、リッジの両側側面の一部にコンタクト層 3 2 から I n P 基板 1 2 表面まで一様に平坦な平坦部 1 4 a を形成するとともにこの平坦部 1 4 a と接触する I n P 基板の露呈面 1 2 a および露呈面 1 2 b をリッジの両側に形成する。

#### 【 0 0 4 7 】

その後 n 側クラッド層 2 6 の延長部 2 6 a、光導波路リッジ 1 4、および I n P 基板 1 2 上に S i O<sub>2</sub> 膜の表面保護膜 1 6 を形成する。

次いで、光導波路リッジ 1 4 の頂部、及び n 側クラッド層 2 6 の延長部 2 6 a において、表面保護膜 1 6 に開口 1 8 及び開口 2 0 を形成する。

その後、表面保護膜 1 6 上にレジストを塗布し、開口 1 8 を含む光導波路リッジ 1 4 の上表面から両側面の平坦部 1 4 a 上を經由して光導波路リッジ 1 4 の基底部まで下り、光導波路リッジ 1 4 両側の I n P 基板 1 2 の露呈面 1 2 a 及び露呈面 1 2 b 上に延長する領域及び開口 2 0 を含む領域のレジストを除去したレジストパターンを形成する。

#### 【 0 0 4 8 】

次いで全面にスパッタリングにより電極層としての T i 膜および A u 膜を積層し、リフトオフ法によりレジストパターンとその上に積層された電極層を除去する。

これにより、開口 1 8 を介して下地電極層 3 4 と密着し、光導波路リッジ 1 4 の上表面から両側面の平坦部 1 4 a 上を表面保護膜 1 6 上に密着して光導波路リッジ 1 4 の基底部まで延在し、さらに光導波路リッジ 1 4 の両側に表面保護膜 1 6 を介して I n P 基板 1 2 の露呈面 1 2 a 及び露呈面 1 2 b 上に延長し、一方の端部としてのボンディングパッド部 2 2 a と他方の端部 2 2 b とを有する p 側電極 2 2 および、開口 2 0 を含む領域をボンディングパッドとした n 側電極 2 4 が形成される。

## 【 0 0 4 9 】

その後 I n P 基板 1 2 の厚みを  $100\mu\text{m}$  に研磨して図 1 1、及び図 1 2 で示された光変調器素子として完成する。

このように光導波路リッジ 1 4 の両側に I n P 基板 1 2 の露呈面 1 2 a 及び 1 2 b を形成し、光導波路リッジ 1 4 の両側に p 側電極 2 2 を延在させ、端部を I n P 基板 1 2 の露呈面 1 2 a 及び 1 2 b に形成することにより、p 側電極 2 2 を形成するときのマスク合わせが少し粗くなっても、容量増加につながらず、光変調器の容量のばらつきが少なくなり、歩留まりが向上する。

## 【 0 0 5 0 】

p 側電極 2 2 は実施の形態 1 のように、一方の端部が光導波路リッジ 1 4 の上表面で開口 1 8 を介して下地電極層 3 4 と接続され、もう一方の端部が I n P 基板 1 2 の露呈面上にボンディングパッド部 2 2 a として構成されれば機能的には満足される。しかしこのように、光導波路リッジ 1 4 の片側だけに p 側電極を形成することはマスク合わせの精度が高くなければならず、ややもすれば、光導波路リッジ 1 4 の両側に p 側電極 2 2 が形成され、一方の端部は I n P 基板 1 2 の露呈面上に表面保護膜 1 6 を介してボンディングパッド部 2 2 a として形成されるが、予定しなかったもう一方の端部は表面保護膜 1 6 を介して n 側クラッド層 2 6 の延長部 2 6 a 上に形成され、薄い表面保護膜 1 6 を介して極板が対向するキャパシタを構成することになり、規定の容量を満たさなくなることがある。これは光変調器の素子容量のばらつきが大きくなり、光変調器の歩留まり低下に繋がる。

## 【 0 0 5 1 】

この実施の形態2に係る光変調器56では、ボンディングパッド部22aではないもう一方の端部22bもInP基板12の露呈面12bに形成されるので、この端部22bにおける容量は小さくなり、素子容量の増加に繋がらず素子容量のばらつきが少なく、光変調器の歩留まりが高くなる。また、製造工程におけるマスク合わせが容易になり、工程が簡単になる。延いては安価な光変調器を提供することができる。

## 【0052】

## 実施の形態3

この実施の形態は、光導波路リッジを形成するためのエピタキシャル成長を行う前に、半導体基板の一部をエッチングにより掘り込み、ここに導電層を埋め込み成長させ、この上にエピタキシャル成長を行ない、導電層の一部の上に光導波路リッジを形成し、p側電極のボンディングパッド部を半導体基板の露呈面上に、またn側電極を導電層上に形成したものである。

図13はこの実施の形態に係る光変調器の斜視図である。図14は図13のXIV-XIV断面における断面図、図15は図13のXV-XV断面における断面図である。

## 【0053】

図13、図14、及び図15において、66は光変調器、68は導電層としてのn-InP層である。

n-InP層68はInP基板12の半分程度に配設され、このn-InP層68の上に光導波路リッジ14が配設されている。光導波路リッジ14の側面の一方はInP基板12の露呈面12aに接触し、光導波路リッジ14の側面のもう一方はn-InP層68の露呈面に接触している。

p側電極22は光導波路リッジ14の上表面からInP基板12の露呈面12aに接触した側面上に延長され、さらにInP基板12の露呈面12a上に延長し、リッジ表面保護膜16を介してInP基板12の露呈面12a上に端部であるボンディングパッド部22aが配設されている。

## 【0054】

n側電極は表面保護膜16の開口20を介してn-InP層68の露呈面上に

配設されている。

つぎに光変調器 6 6 の製造方法について説明する。

図 1 6、図 1 7、図 1 8、図 1 9、及び図 2 0 は、各製造工程における変調器素子の断面図である。

まず InP 基板 1 2 の表面に SiO<sub>2</sub> 膜などの絶縁膜を形成し、n-InP 層 6 8 を形成する部分の絶縁膜を除去したマスクパターン 7 0 を形成し、このマスクパターン 7 0 をマスクとしてエッチングを行い、InP 基板 1 2 に掘り込み部を形成する。次にマスクパターン 7 0 を選択成長マスクとして、掘り込み成長を行い、n-InP 層 6 8 を形成する（図 1 6 参照）。

#### 【0055】

次に、InP 基板 1 2 上に、n 側クラッド層 2 6 としての n-InP 層、InGaAsP/InGaAs (P) 系材料からなる MQW 構造の光吸収層 2 8、p 側クラッド層 3 0 としての p-InP 層、およびコンタクト層 3 2 としての p-InGaAs 層を、エピタキシャル成長により積層する（図 1 7 参照）。

次に、レジストを塗布し、写真製版工程により光導波方向に幅 2～3 μm の帯状の開口を有するレジストパターン 3 8 を形成し、この上にスパッタリングにより Ti、Pt 及び Au を積層し、下地電極層 3 4 を形成する。次に、リフトオフ法により帯状の下地電極層 3 4 を残してレジストパターン 3 8 を除去し、改めて帯状の下地電極層 3 4 を覆う誘電体膜、たとえば SiO<sub>2</sub> 膜、を形成し、下地電極層 3 4 を含む帯状の誘電体膜 4 0 のパターンを残して、他の部分をエッチングにより除去し、この誘電体膜 4 0 をリッジ形成マスクとして、ドライエッチングにより片側は InP 基板 1 2 が、また他の側は n-InP 層が露呈するまでエッチングする（図 1 8 参照）。

#### 【0056】

その後 n-InP 層 6 8、光導波路リッジ 1 4、および InP 基板 1 2 上に表面保護膜 1 6 としての SiO<sub>2</sub> 膜を形成する（図 1 9 参照）。

次いで、光導波路リッジ 1 4 の上表面上及び n-InP 層 6 8 上において、表面保護膜 1 6 に開口 1 8 及び開口 2 0 を形成する（図 2 0 参照）。

その後、表面保護膜 1 6 上にレジストを塗布し、開口 1 8 を含む光導波路リッ

ジ14の上表面から側面の平坦部14a上を経由して光導波路リッジ14の基底部まで下り、InP基板12の露呈面58上に延長する領域及び開口20を含む領域のレジストを除去したレジストパターンを形成し、全面にスパッタリングにより電極層としてのTi膜およびAu膜を積層し、リフトオフ法によりレジストパターンとその上に積層された電極層を除去する。

## 【0057】

これにより、開口18を介して下地電極層34と接着し、光導波路リッジ14の上表面から側面の平坦部14a上を表面保護膜16表面に密着して光導波路リッジ14の基底部まで延長し、さらに表面保護膜16を介してInP基板12の露呈面上に延長し、端部をボンディングパッド部22aとしたp側電極22、および開口20を含む領域をボンディングパッドとしたn側電極24を形成し、InP基板12の厚みを100 $\mu$ mに研磨して図13、図14、及び図15で示された光変調器素子として完成する。

## 【0058】

このようにして形成する光変調器66の製造工程においては、導電層として使用するn側クラッド層26の延長部26aを形成する必要がないので、光導波路リッジ14を形成する際に、一旦n側クラッド層26を残し、改めてp側電極22を配置する領域のn側クラッド層26を除去するという工程が不要になり、より簡単なプロセスで素子を製造することができる。

## 【0059】

また、上記の光変調器66においては、InP基板12の露呈面を光導波路リッジ14の片側のみに設けたが、掘り込み成長する領域の平面形状を光導波路リッジ14の両側にInP基板12の露呈面が残るように形成し、実施の形態2の光変調器56と同様に、p側電極22を、開口18を介して下地電極層34と接着し、光導波路リッジ14の上表面から両側面の平坦部14a上を表面保護膜16上に密着して光導波路リッジ14の基底部まで延長し、さらに光導波路リッジ14の両側に表面保護膜16を介してInP基板12の露呈面上に延長し、一方の端部をボンディングパッド部22aとし、他方を端部22bとした構成にすることにより、p側電極22を形成するときのマスク合わせが少し粗くなっても、

容量増加につながらず、光変調器の容量のばらつきが少なくなり、光変調器の歩留まりを向上することができる。延いては安価な光変調器を提供することができる。

#### 【0060】

さらに上記の  $n-I n P$  層を埋め込み成長で形成したが、 $n$  型ドーパント、たとえば  $S i$ 、 $S$  などをイオン注入や拡散により形成すればより簡単な工程で素子を製造することができ、安価な光変調器を提供することができる。

#### 【0061】

##### 実施の形態 4

この実施の形態 4 は、光導波路リッジの基底部であって、表面保護膜と  $p$  側電極との間に誘電体を配設したものである。

図 21 は、この実施の形態に係る光変調器の断面図である。この断面はたとえば、図 1 の  $I I - I I$  断面の断面図に相当するもので、誘電体が配設されている以外の構成は、実施の形態 1 の光変調器 10 と同じ構成である。

#### 【0062】

図 21 において、78 は誘電体としての  $S O G$  (spin on Glass) である。 $S O G$  のほかにポリイミドであってもよい。

$p$  側電極は、光導波路リッジ 14 の側面上を表面保護膜 16 を介して配設されているので、表面保護膜 16 を介して  $p$  側電極 22 と  $n$  側クラッド層 26 の側面とが対向する部分の容量は、 $n$  側クラッド層 26 の膜厚を  $1 \mu m$ 、 $p$  側電極 22 の幅を  $10 \mu m$  とし、表面保護膜 16 の厚みを  $0.2 \mu m$  とすると、この部分で  $5 f F$  程度となり、決して無視できない。

そこで光導波路リッジ 14 を形成し、表面保護膜 16 を形成した後、 $S O G$  などを回転塗布することにより、光導波路リッジ 14 の基底部の表面保護膜 16 上に、 $S O G$  78 を配設したものである。

#### 【0063】

この  $S O G$  78 を表面保護膜 16 と  $p$  側電極 22 との間に配することにより、キャパシタの極板間の距離を大きくすることができ、この部分の容量を下げるができる。延いては素子容量を小さくし光変調器の高速特性を向上することが



できる。

なお、実施の形態 4 の説明を、実施の形態 1 の光変調器 1 0 に即して説明したが、既に説明した他の実施の形態の光変調器に適用しても同様の効果がある。

#### 【 0 0 6 4 】

##### 実施の形態 5

この実施の形態 5 は、光導波路リッジ側面と誘電体膜との間に光導波路リッジの幅寸法よりも薄い層厚の高抵抗半導体層を配設したものである。

図 2 2 は、この実施の形態 5 に係る光変調器の断面図である。この断面はたとえば、図 1 の I I - I I 断面の断面図に相当するもので、高抵抗半導体層が配設されている以外の構成は、実施の形態 1 の光変調器 1 0 と同じ構成である。

図 2 2 において、8 0 は光変調器、8 2 は高抵抗半導体層としての F e ドープ I n P 層である。

この F e ドープ I n P 層 8 2 は光導波路リッジ側面の保護層として形成され、その厚みは光変調器のリッジ幅以下の厚み、たとえば  $0.01\mu\text{m}$  以上  $0.3\mu\text{m}$  以下、さらに望ましくは  $0.01\mu\text{m}$  以上  $0.1\mu\text{m}$  以下である。

#### 【 0 0 6 5 】

既に記載した実施の形態も含め、この発明に係る光変調器は光変調器リッジ 1 4 の側面に、光変調器リッジ 1 4 よりも厚い高抵抗層を備えていない。すなわち光変調器リッジ 1 4 を構成する材料とその外側を囲む空間との屈折率の差によって横方向の光の閉じこめを行っているので、F e ドープ I n P 層 8 2 の厚みが光変調器のリッジ幅以下で  $0.3\mu\text{m}$  以上程度の厚みにおいては、ビーム形状が安定し難い場合も発生する。

しかし、光変調器のリッジ幅以下の厚みの F e ドープ I n P 層 8 2 を設けることにより、光変調器リッジ 1 4 が保護され、信頼性が向上する。

なお、実施の形態 5 の説明を、実施の形態 1 の光変調器 1 0 に即して説明したが、既に説明した他の実施の形態の光変調器に適用しても同様の効果がある。

#### 【 0 0 6 6 】

##### 実施の形態 6

この実施の形態 6 は、既に述べたこの発明に係る光変調器と半導体レーザとを

同一基板上に、形成した変調器付きレーザである。

図 2 3 は、この実施の形態 6 に係る光変調器付き半導体レーザの斜視図である。

図 2 3 において、8 4 は光変調器付き半導体レーザ、8 6 は D F B 型レーザダイオード、8 8 は光変調器である。

#### 【 0 0 6 7 】

光変調器付き半導体レーザは I n P 基板 1 2 共通にし、この I n P 基板 1 2 上に光変調器 8 8 と D F B 型レーザダイオード 8 6 と形成したもので、同じ光軸上に光変調器 8 8 に光吸収層 2 8 と D F B 型レーザダイオード 8 6 の活性層（図示せず）とを配設したものである。

この光変調器 8 8 に、実施の形態 1 から実施の形態 5 に記載した光変調器を使用することにより、高速特性に優れた光変調器付き半導体レーザを構成することができる。

#### 【 0 0 6 8 】

また光変調器付き半導体レーザとしてモノリシックに構成されているので、小型で信頼性の高い光半導体装置を構成することができる。

図 2 3 の光変調器付き半導体レーザ 8 4 は実施の形態 1 の光変調器 1 0 を使用した光変調器付き半導体レーザである。

図 2 4 は、この実施の形態 6 に係る光変調器付き半導体レーザの変形例の斜視図である。

#### 【 0 0 6 9 】

図 2 4 において、9 0 は光変調器付き半導体レーザ、8 6 は D F B 型レーザダイオード、8 8 は光変調器である。

図 2 4 の光変調器付き半導体レーザ 9 0 は実施の形態 2 の光変調器 5 6 を使用した光変調器付き半導体レーザである。この変形例においても高速特性に優れた光変調器付き半導体レーザを構成することができる。

なお上記の説明では、光変調器と半導体レーザとを同一基板上に構成した例を説明したが、必ずしも同一基板上に構成されていなくても、個別に形成されたものを、組み付け基板上で、光軸を一致させて、組み立てるようにしても同様の効

果を奏する。

【 0 0 7 0 】

【発明の効果】

この発明に係る光変調器及び光半導体装置は以上に説明したような構成を備えており、またこの発明に係る光変調器の製造方法は以上に説明した工程を含んでいるので、以下のような効果を有する。

この発明に係る光変調器においては、主面の一部に露呈面を有する半絶縁性の半導体基板と、この半導体基板上に配設され、第1導電型の第1クラッド層、光吸収層、及び第2導電型の第2クラッド層を有するとともに、その側面に頂部から半導体基板まで一様に平坦な平坦部を有し、この平坦部が半導体基板の露呈面に接触した光導波路リッジと、この光導波路リッジ及び半導体基板を覆うとともに光導波路リッジの頂部上に第1の開口を、また半導体基板の露呈面を除く半導体基板上に第2の開口を有した誘電体膜と、この誘電体膜上に配設されるとともに第1の開口を介して光導波路リッジの頂部上に配設され、誘電体膜表面に密着して光導波路リッジ側面の平坦部上に延在し、半導体基板の露呈面を経由して半導体基板上に端部が配設された第1の電極と、半導体基板上に配設され、誘電体膜に配設された第2の開口を介して上記第1クラッド層と接続された第2の電極と、を備えたもので、第1の電極のボンディングパッド部に起因する容量を小さくすることができる。延いては高速性能に優れた光変調器を構成することができる。

【 0 0 7 1 】

さらに、光導波路リッジの両側に半導体基板の露呈面を有し、光導波路リッジの両側面に平坦部を有するとともに、第1の電極が光導波路リッジの両側に延在し、端部が光導波路リッジの両側に配設されたもので、第1の電極に起因する容量のばらつきが少ない構成とすることができる。延いては素子容量のばらつきが少なく、歩留まりの高い光変調器を構成することができる。

【 0 0 7 2 】

さらに、第1の電極が配設された領域を除いて、第1クラッド層が光導波路リッジの外側の半導体基板上にさらに延在したもので、半導体基板の露呈面を形成

するためのマスク合わせが容易になる。安価な光変調器を構成することができる。

【0073】

さらに、第2の電極が第1クラッド層の延在した部分に第2の開口を介して配設されたもので、第2の電極と第1クラッド層との接続が容易になる。延いては構成の簡単な光変調器を構成することができる。

【0074】

さらに、光導波路リッジの側面の平坦部が半導体基板の露呈面に接触した部分を含む光導波路リッジ基底部であって、誘電体膜と第1の電極との間に誘電体をさらに配設したもので、第1の電極と光導波路リッジ側面の第1クラッド層とに起因する電気容量を小さくすることができる。延いては素子容量を小さくすることができ、高速特性に優れた光変調器を構成することができる。

【0075】

さらに、第1の電極が配設された領域を除き光導波路リッジの直下を含む半導体基板に配設された第1導電型の導電層をさらに備えるとともに、この導電層に誘電体膜の第2の開口を介して第2の電極が配設されたもので、光導波路リッジの構成が簡単になる。延いては安価な光変調器を構成することができる。

【0076】

さらに、光導波路リッジ側面と誘電体膜との間に光導波路リッジの幅寸法よりも薄い層厚の高抵抗半導体層が配設されたもので、光導波路リッジの表面の保護をより確実にすることができる。延いては信頼性の高い光変調器を構成することができる。

【0077】

また、この発明に係る光半導体装置は、上記の光変調器のいずれか一つと、この光変調器の光吸収層に光軸を一致させた半導体レーザ素子と、を備えたもので、高周波特性に優れた光半導体装置を構成することができる。

【0078】

さらに、半導体レーザ素子が半絶縁性の半導体基板上に光導波路リッジを有するリッジ型であって、光変調器と同一基板上に配設されたもので、半導体レーザ

素子と光変調器とをモノリシックに構成することができる。延いては小型で信頼性の高い光半導体装置を構成することができる。

## 【 0 0 7 9 】

また、この発明に係る光変調器の製造方法は、半絶縁性の半導体基板上に第1導電型の第1クラッド層、光吸収層、及び第2導電型の第2クラッド層を形成する第1の工程と、写真製版工程とエッチングにより半導体基板の露呈面を形成するとともに、側面に頂部から半導体基板まで一様に平坦な平坦部を有し、この平坦部が半導体基板の露呈面に接触した光導波路リッジを形成する第2の工程と、半導体基板上に誘電体膜を形成し、光導波路リッジ頂部に第1の開口を、半導体基板の露呈面を除く半導体基板上に第2の開口を形成する第3の工程と、第1の開口を介して光導波路リッジの頂部上に配設され、誘電体膜表面に密着して光導波路リッジ側面の平坦部上に延在し、半導体基板の上記露呈面を経由して半導体基板上に端部が配設された第1の電極を形成する第4の工程と、第2の開口を介して第1クラッド層と接続された第2の電極を形成する第5の工程と、を含むもので、素子容量の少ない光変調器を簡単な工程で製造することができる。延いては安価で高速特性に優れた光変調器を提供することができる。

## 【 0 0 8 0 】

さらに、第2の工程において光導波路リッジの両側に半導体基板の露呈面を形成し、光導波路リッジの両側面に平坦部を形成するとともに、第4の工程において第1の電極を光導波路リッジの両側に延在させ、光導波路リッジの両側に端部を形成するもので、第1の電極形成に際してマスク合わせが簡単になる。延いては歩留まりよく光変調器を製造することができ、安価に光変調器を提供することができる。

## 【 0 0 8 1 】

さらに、第1の工程に先立って、半絶縁性の半導体基板の一部に第1導電型の導電層を形成する工程をさらに含み、第2の工程において半導体基板の露呈面を形成するとき導電層の露呈面も形成し、第5の工程において、第2の電極が第2の開口を介して導電層上に形成されるもので、光導波路リッジの形成と第1、第2の電極の設置面とを同時に形成でき、素子の製造工程が簡単になる。延いては

安価に光変調器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

- 【図 1】 この発明に係る光変調器の斜視図である。
- 【図 2】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 3】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 4】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である。
- 【図 5】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である。
- 【図 6】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である。
- 【図 7】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である。
- 【図 8】 この発明に係る光変調器の斜視図である。
- 【図 9】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 1 0】 この発明に係る光変調器の斜視図である。
- 【図 1 1】 この発明に係る光変調器の斜視図である。
- 【図 1 2】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 1 3】 この発明に係る光変調器の斜視図である。
- 【図 1 4】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 1 5】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 1 6】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である
- 。
- 【図 1 7】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である
- 。
- 【図 1 8】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である
- 。
- 【図 1 9】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である
- 。
- 【図 2 0】 製造工程におけるこの発明に係る光変調器素子の断面図である
- 。
- 【図 2 1】 この発明に係る光変調器の断面図である。
- 【図 2 2】 この発明に係る光変調器の断面図である。

【図 2 3】 この発明に係る光変調器付き半導体レーザの斜視図である。

【図 2 4】 この発明に係る光変調器付き半導体レーザの斜視図である。

【図 2 5】 従来の光変調器の斜視図である。

【図 2 6】 従来の光変調器の断面図である。

【図 2 7】 製造工程に従って示した従来の光変調器の断面図である。

【図 2 8】 製造工程に従って示した従来の光変調器の断面図である。

【図 2 9】 製造工程に従って示した従来の光変調器の断面図である。

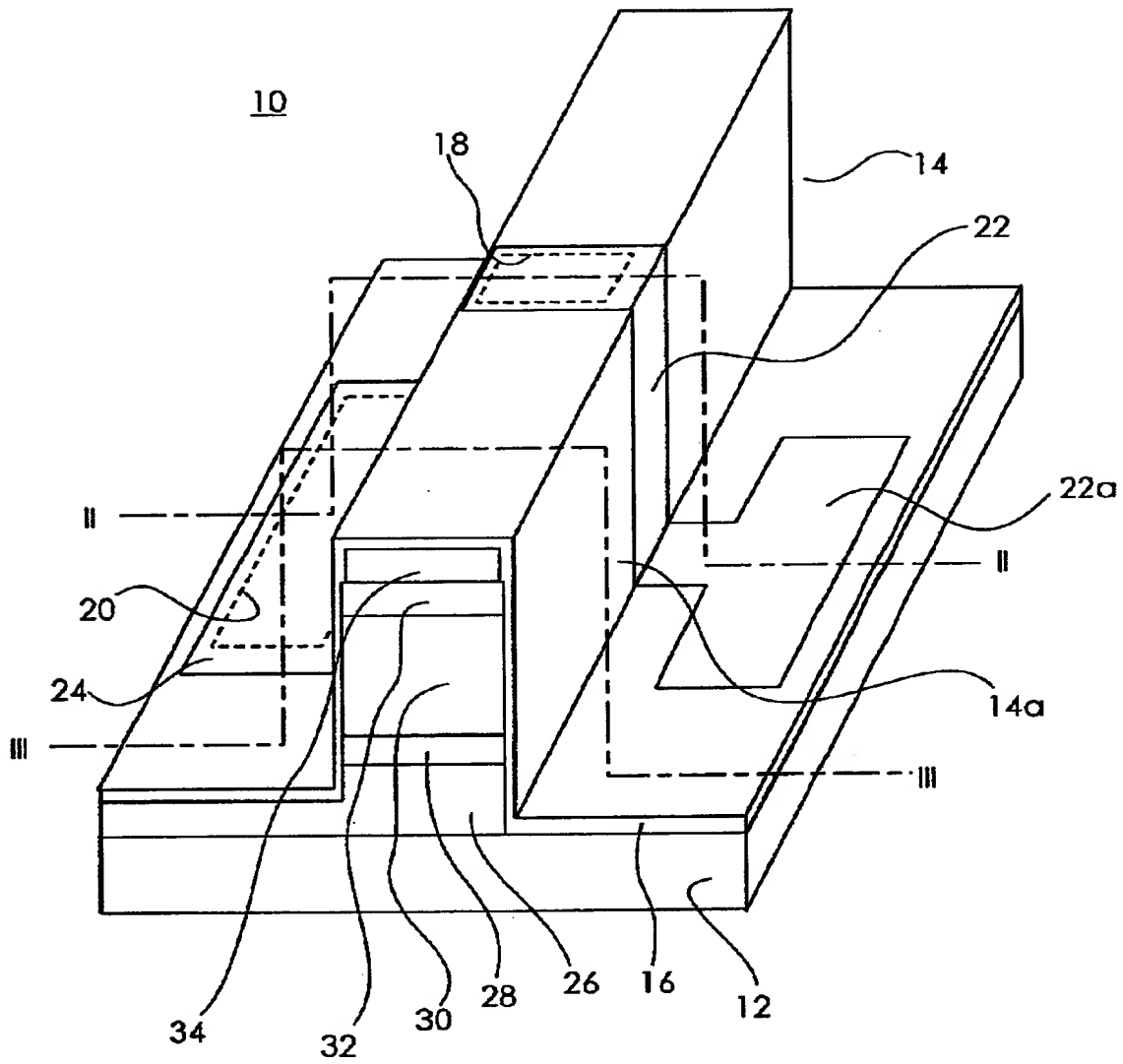
【符号の説明】

1 2    I n P 基板、            2 6    n 側 クラッド層、            2 8    光吸収層、            3  
0    p 側 クラッド層、            1 4 a   平坦部、            1 4    光導波路リッジ、            1  
6    誘電体膜、            2 2    p 側 電極、            2 4    n 側 電極、            7 8    S O G、  
6 8    n - I n P 層、            8 2    F e ドープ I n P 層、            8 6    半導体レ  
ーザ。

【書類名】

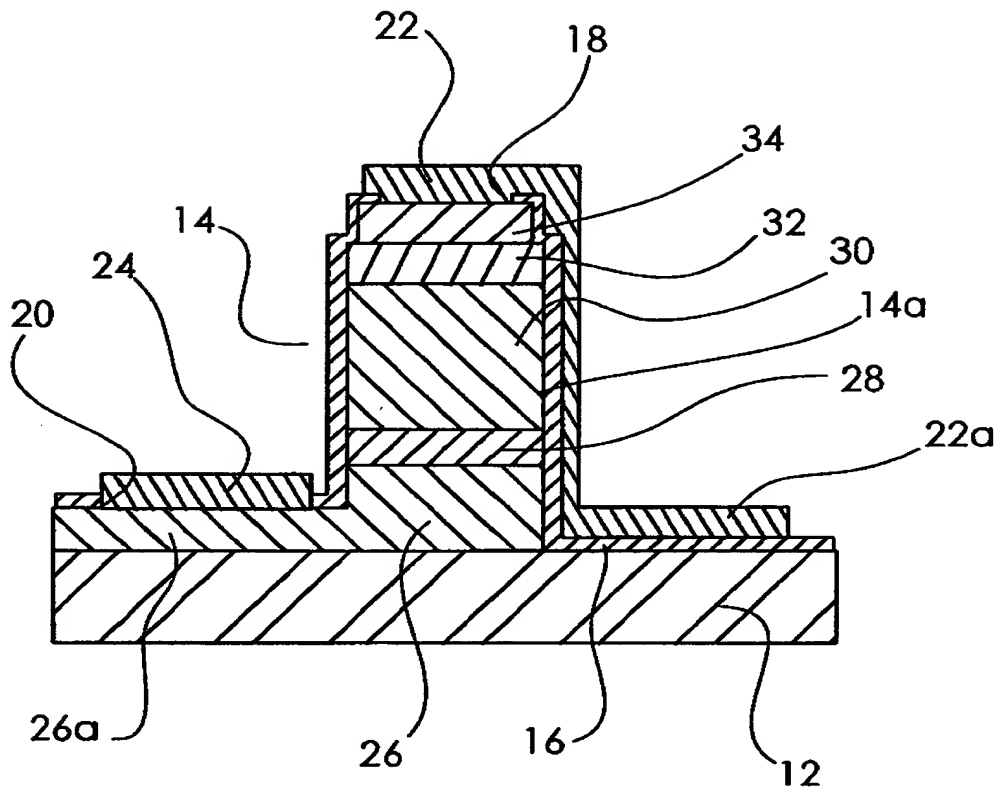
図面

【図1】

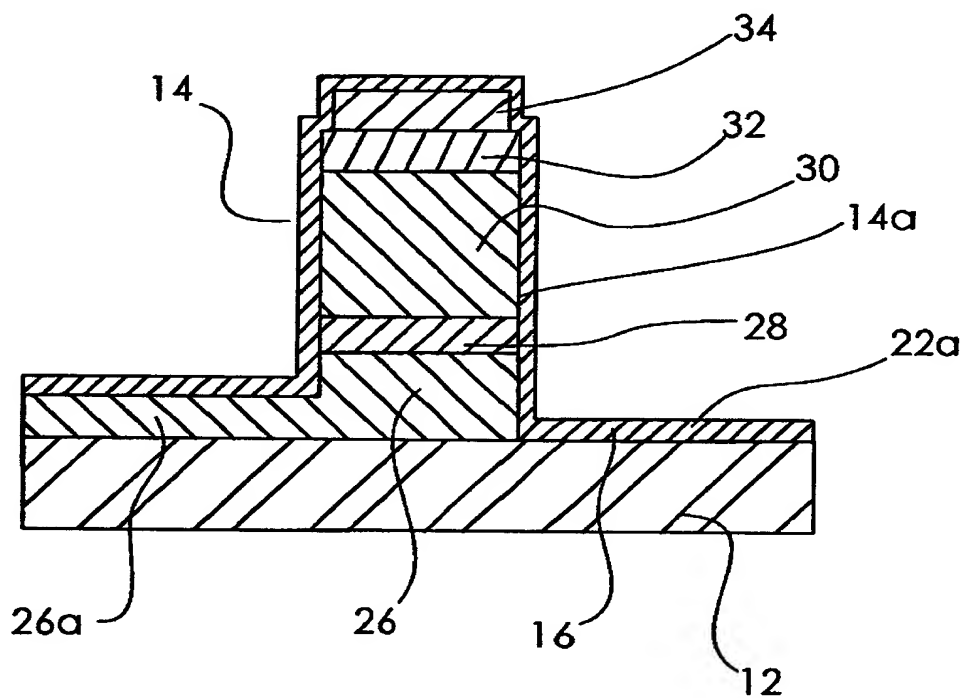




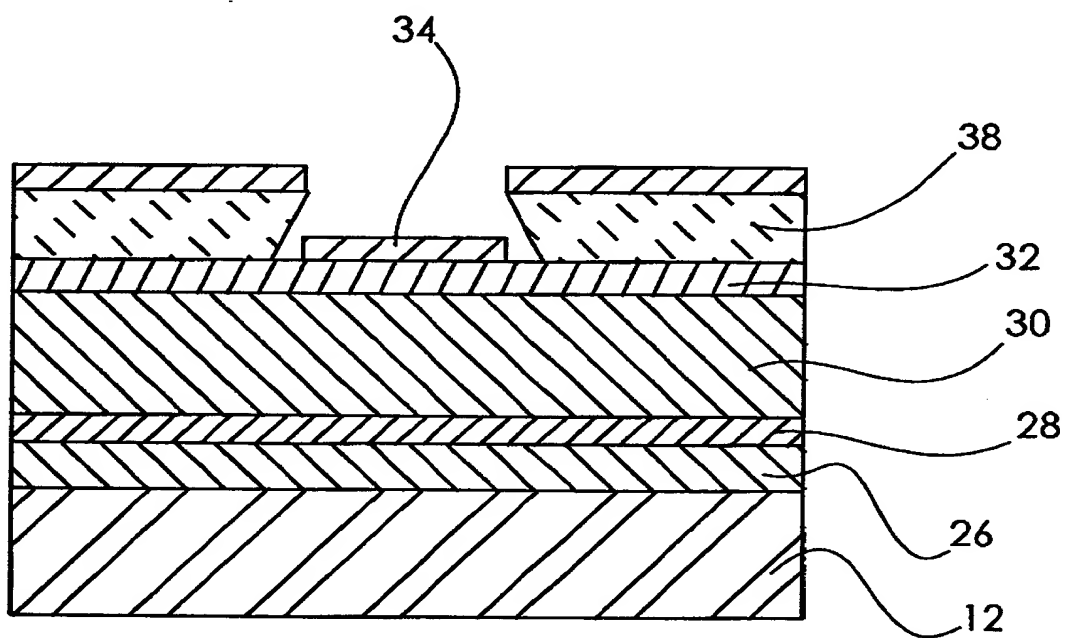
【図 2】



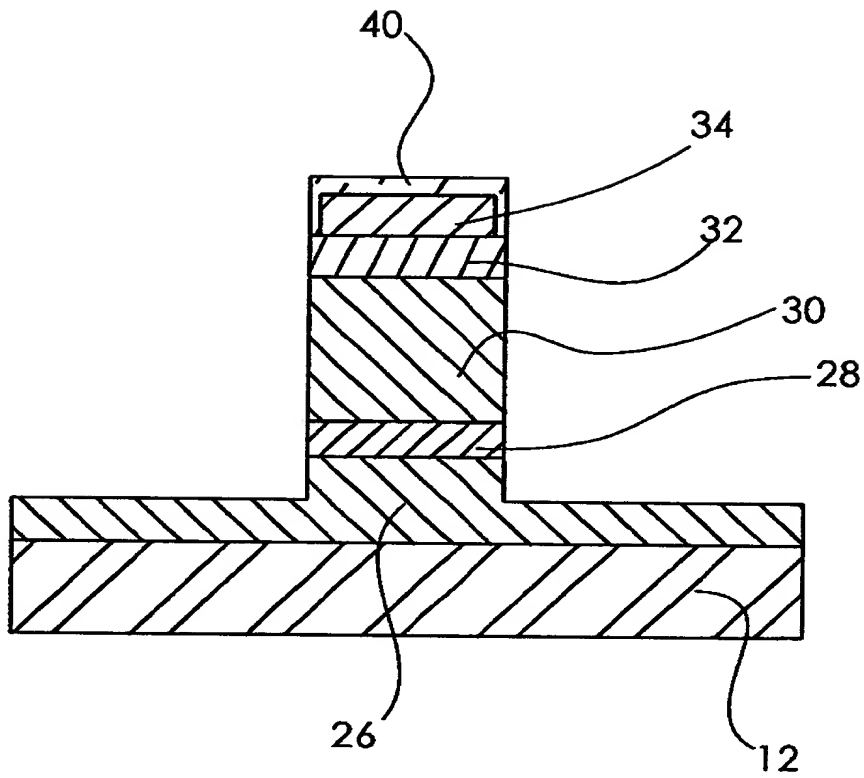
【図 3】



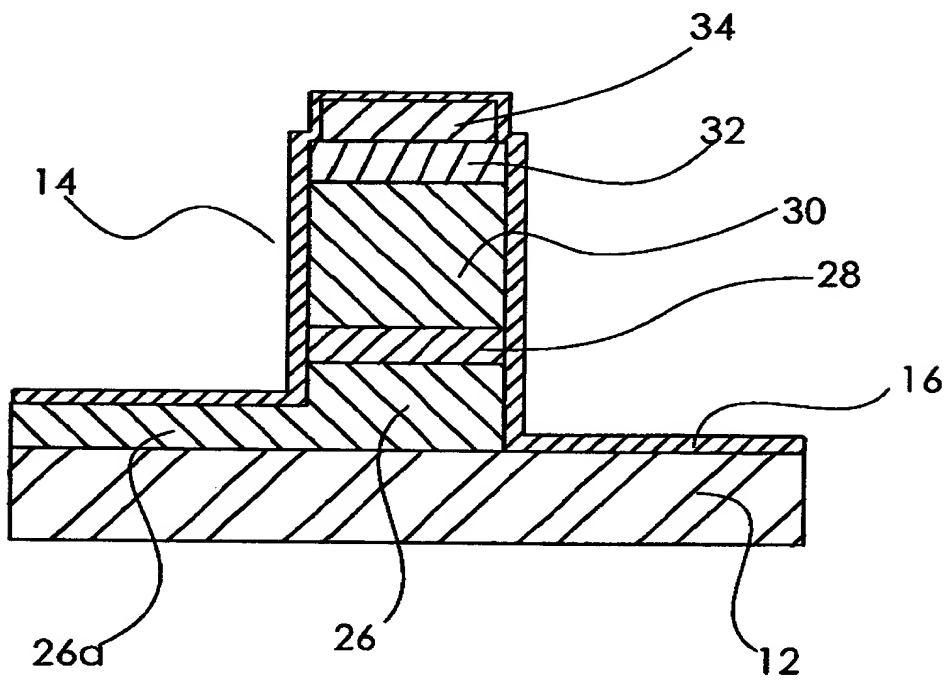
【図 4】



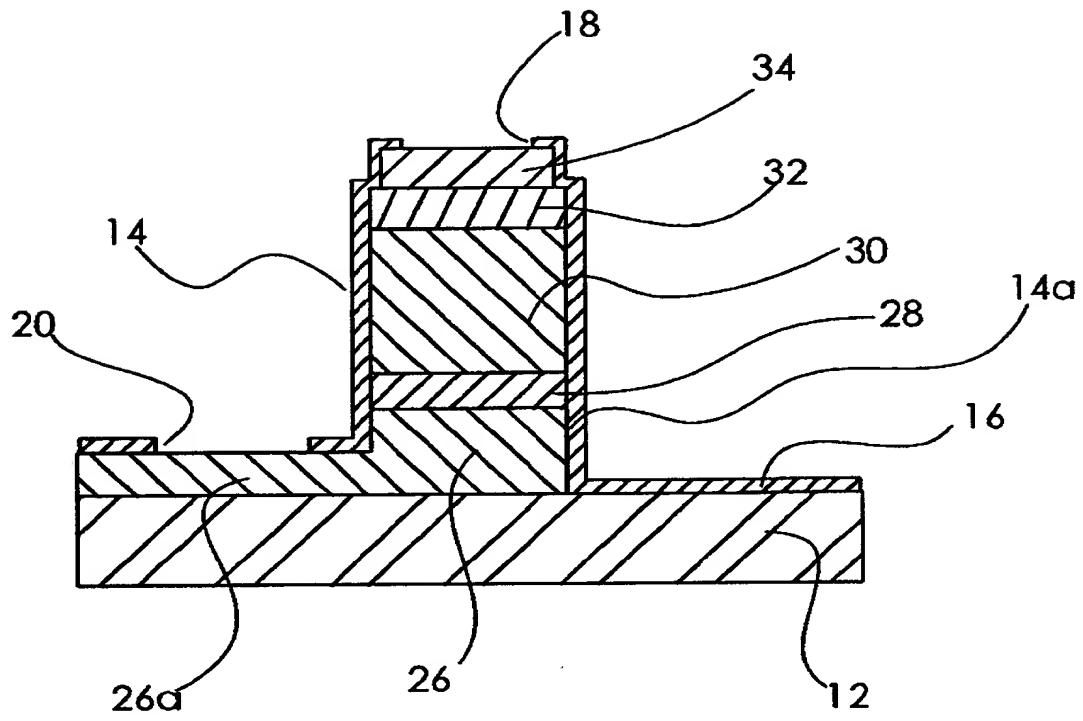
【図 5】



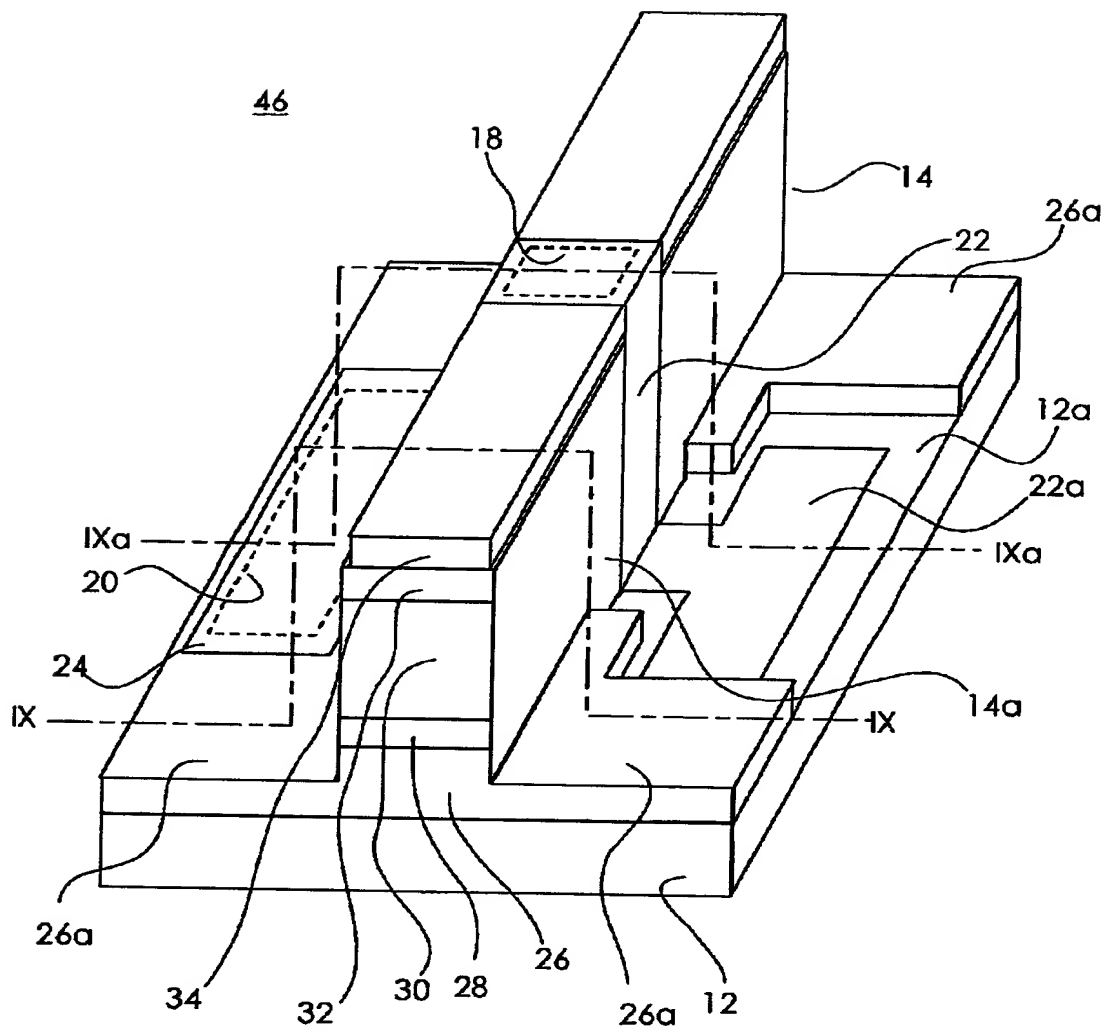
【図 6】



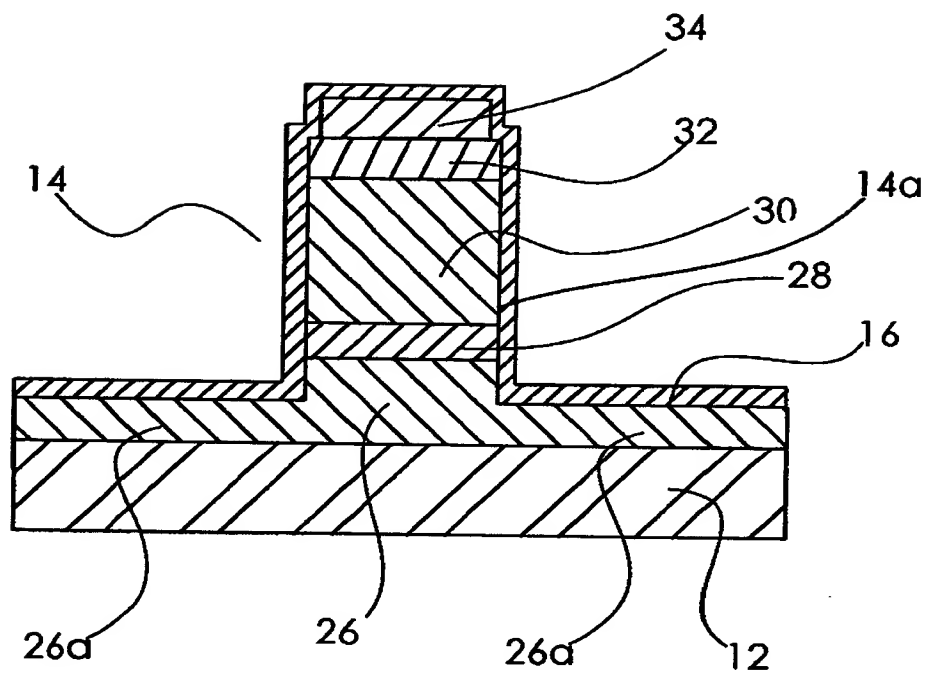
【図 7】



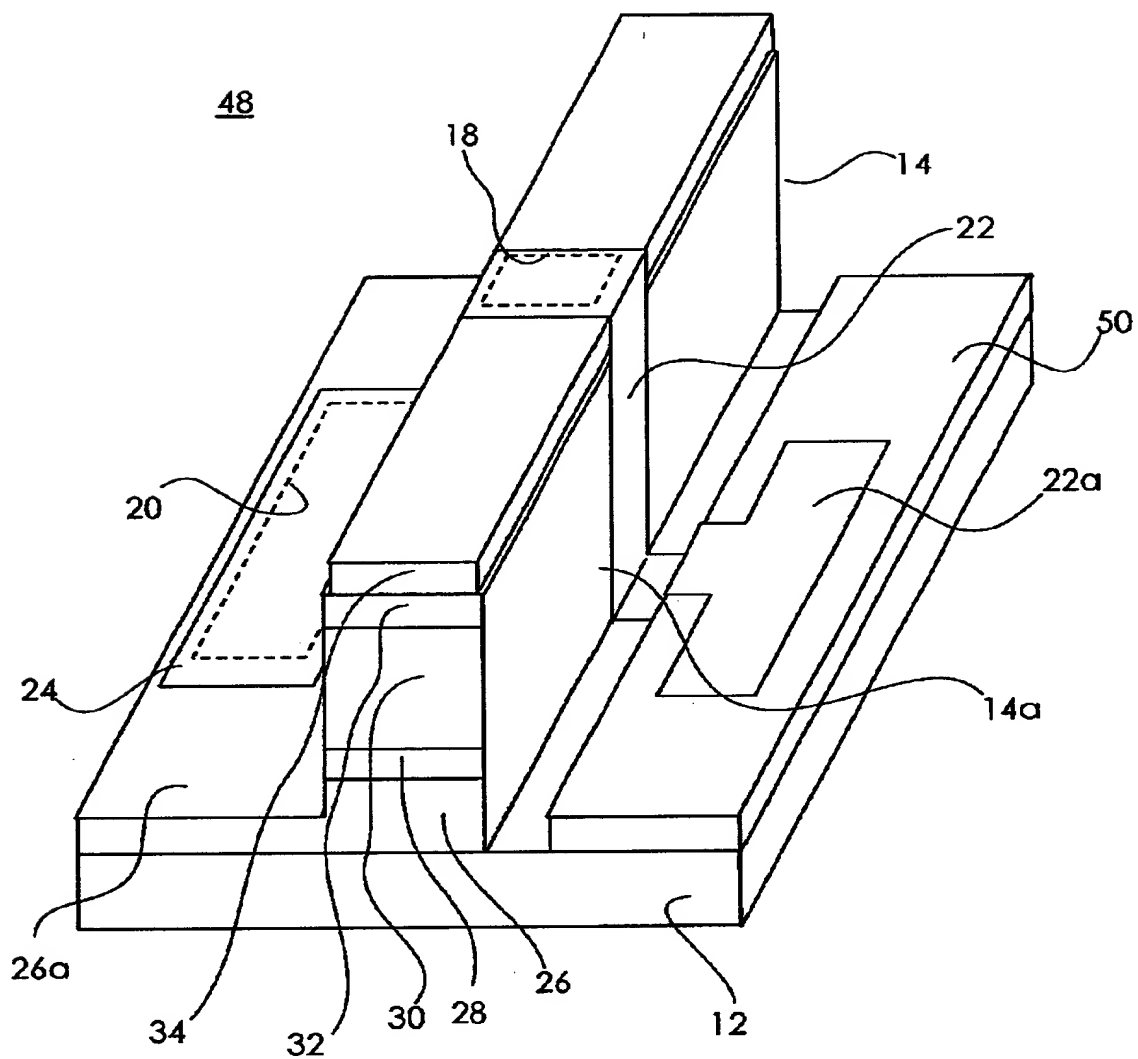
【図 8】



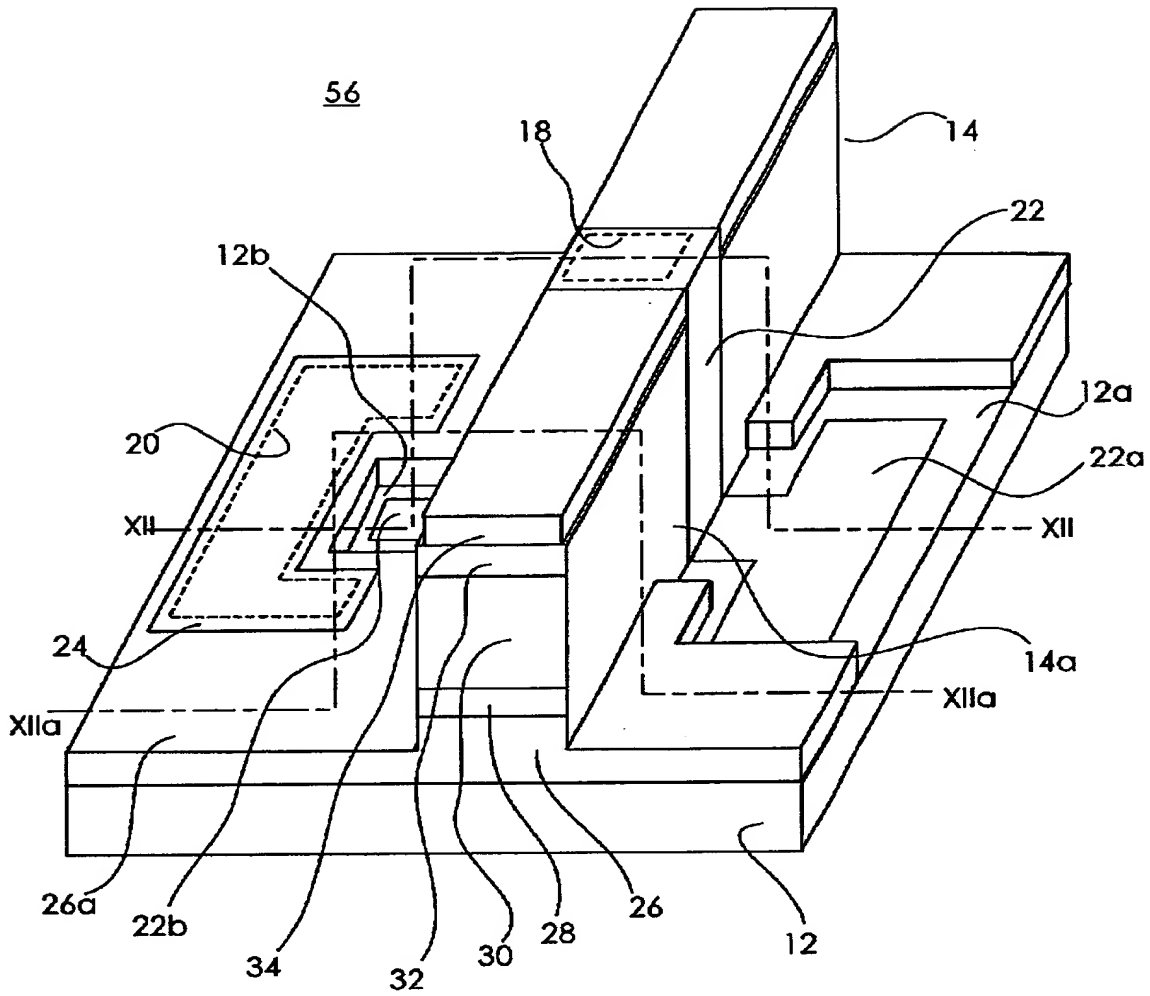
【図9】



【図 10】

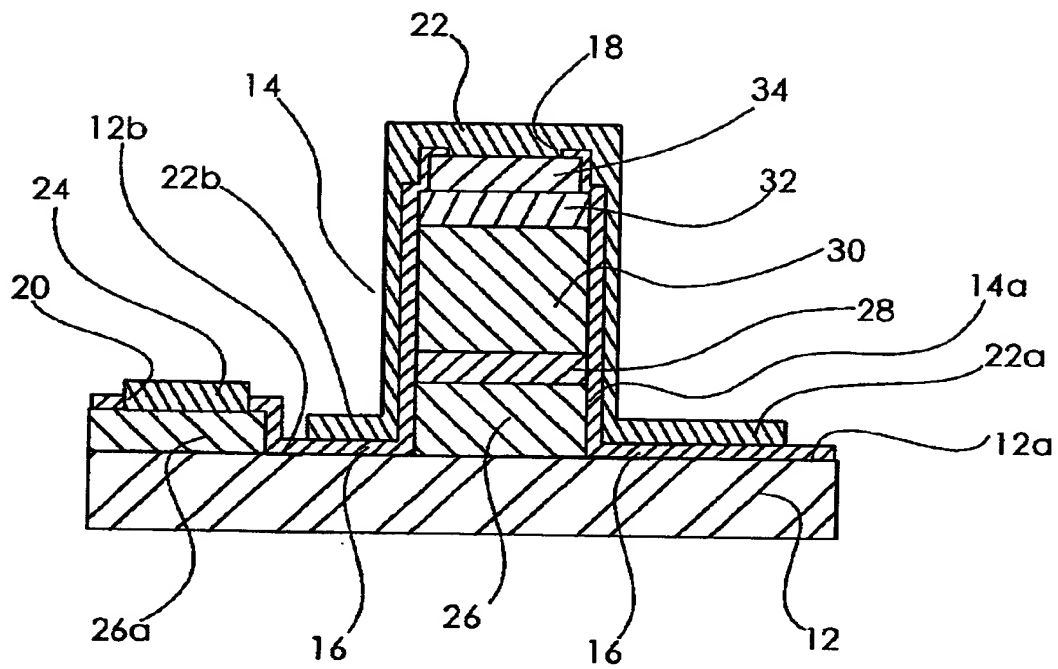


【図 11】

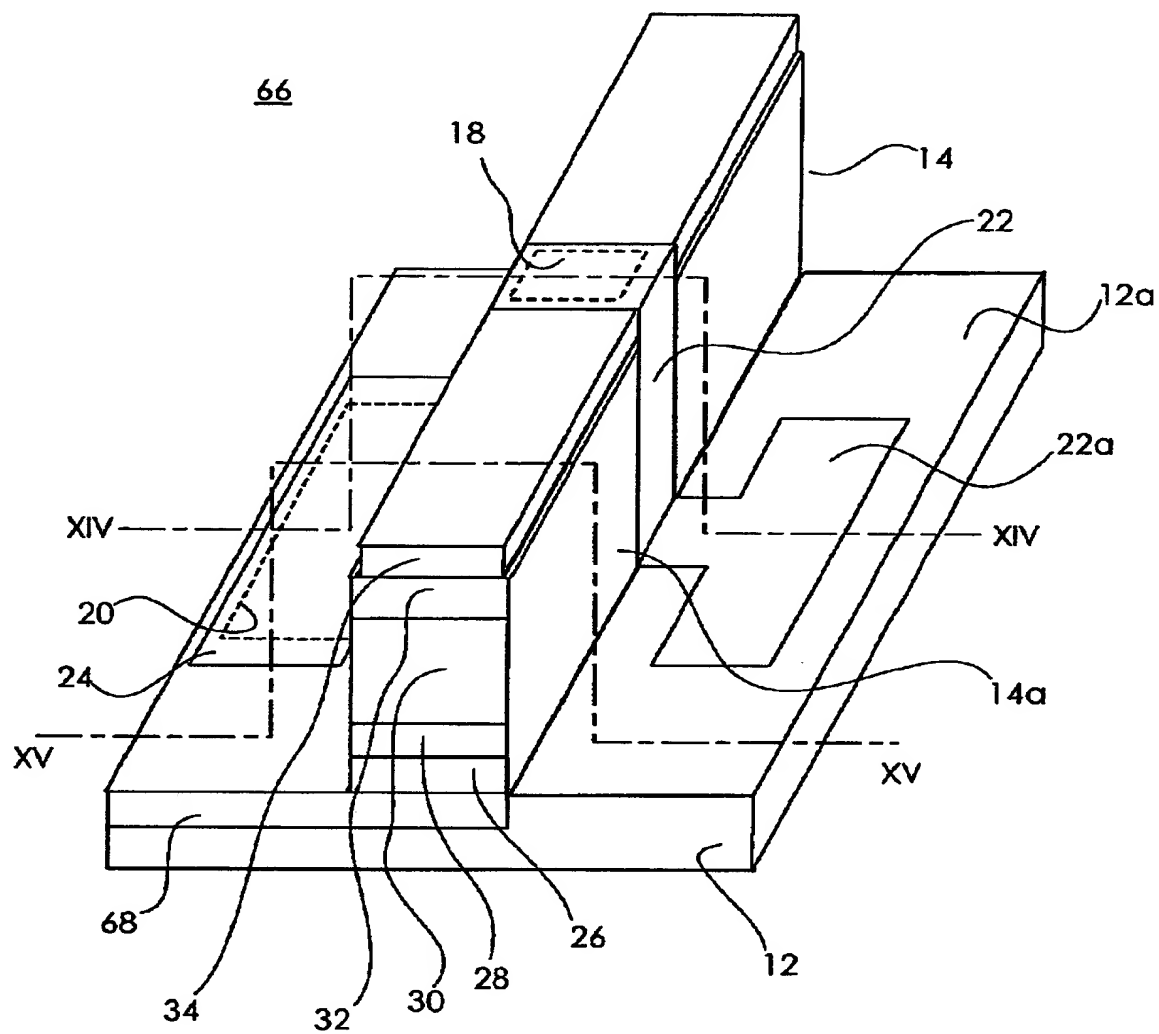




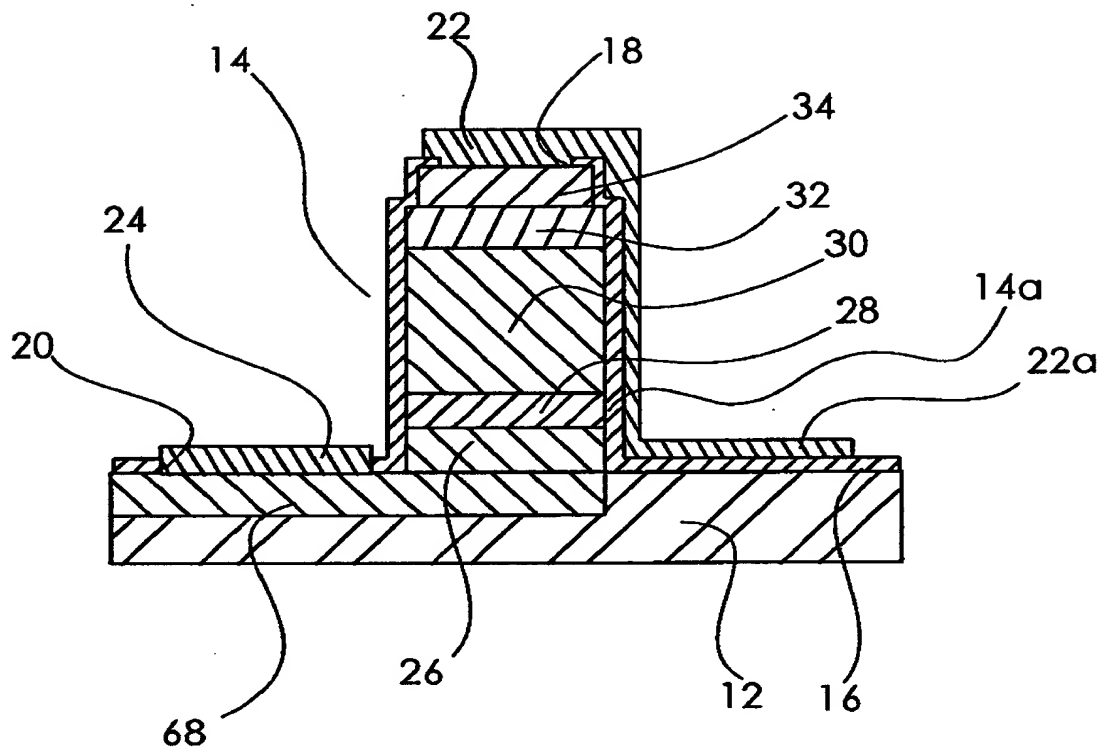
【図 1 2】



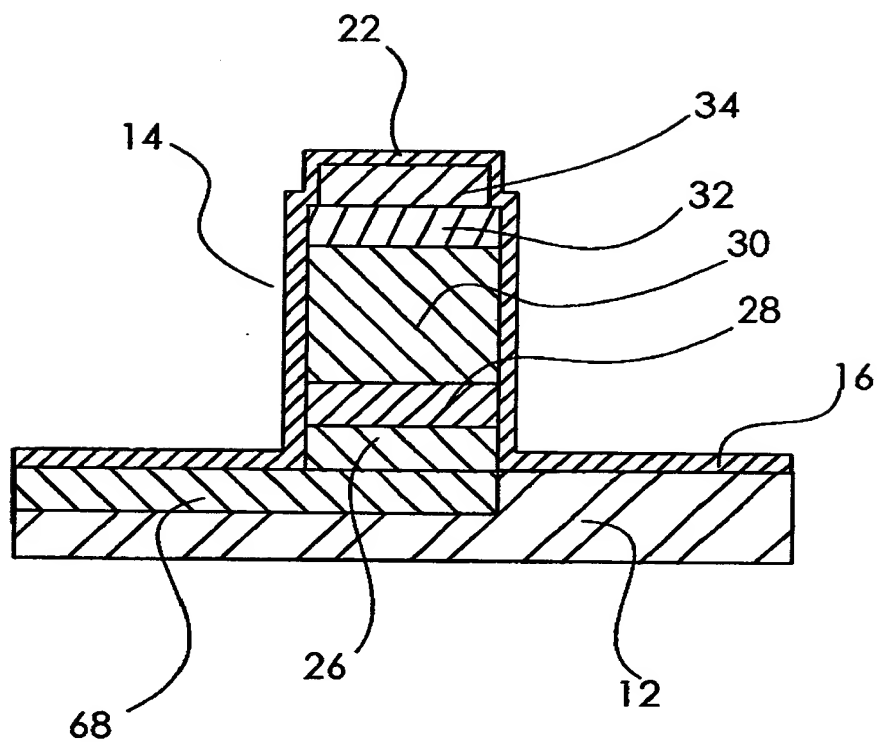
【図 13】



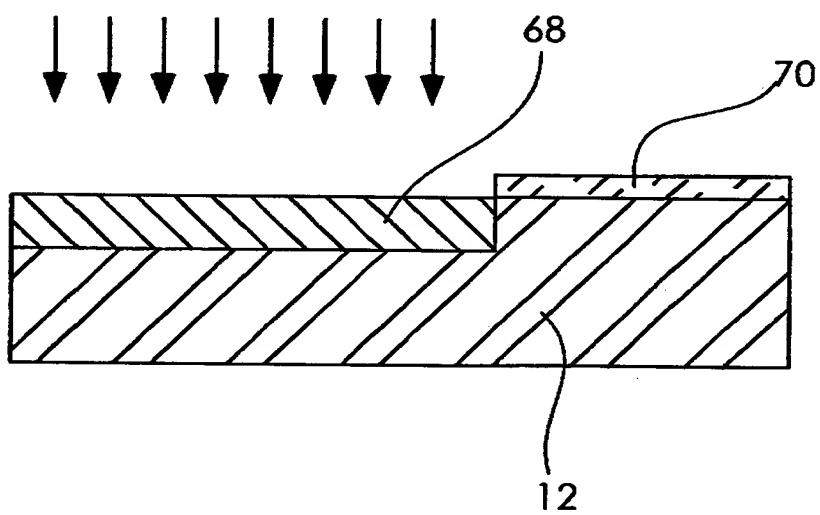
【図 1 4】



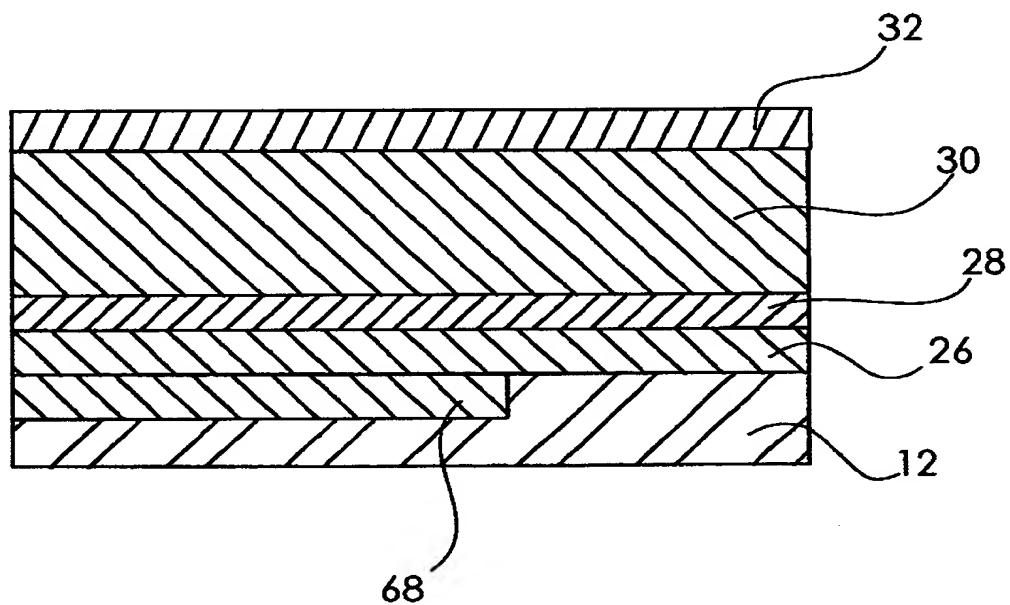
【図15】



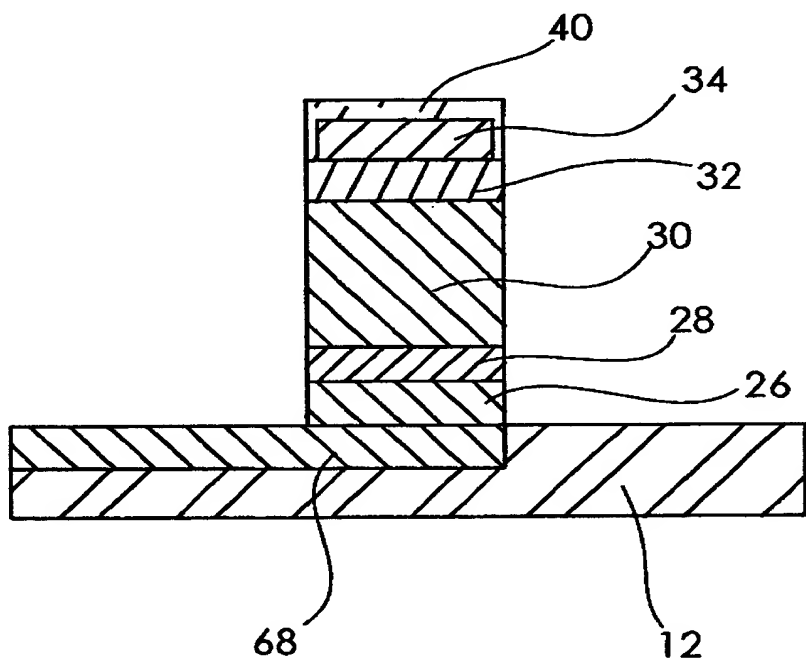
【図16】



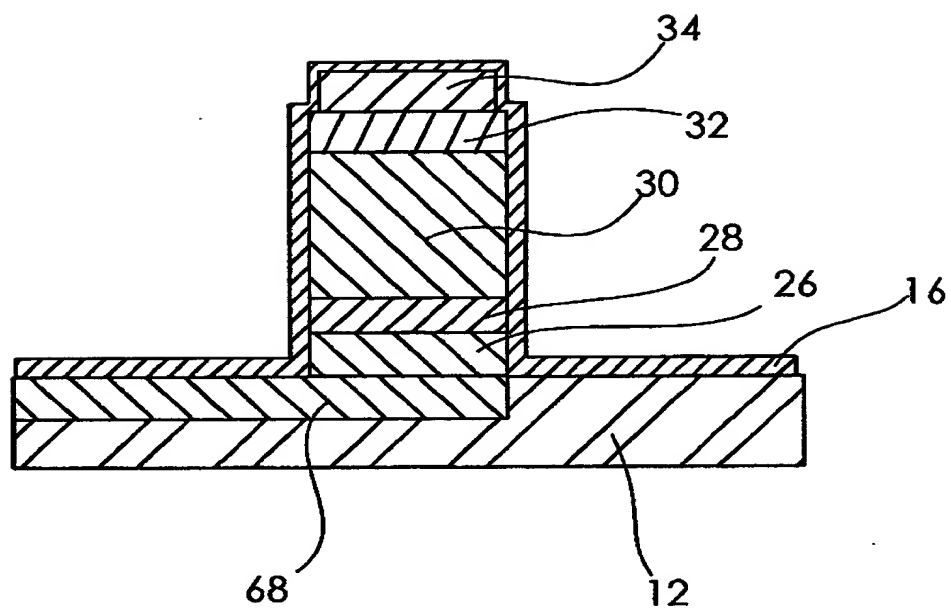
【図17】



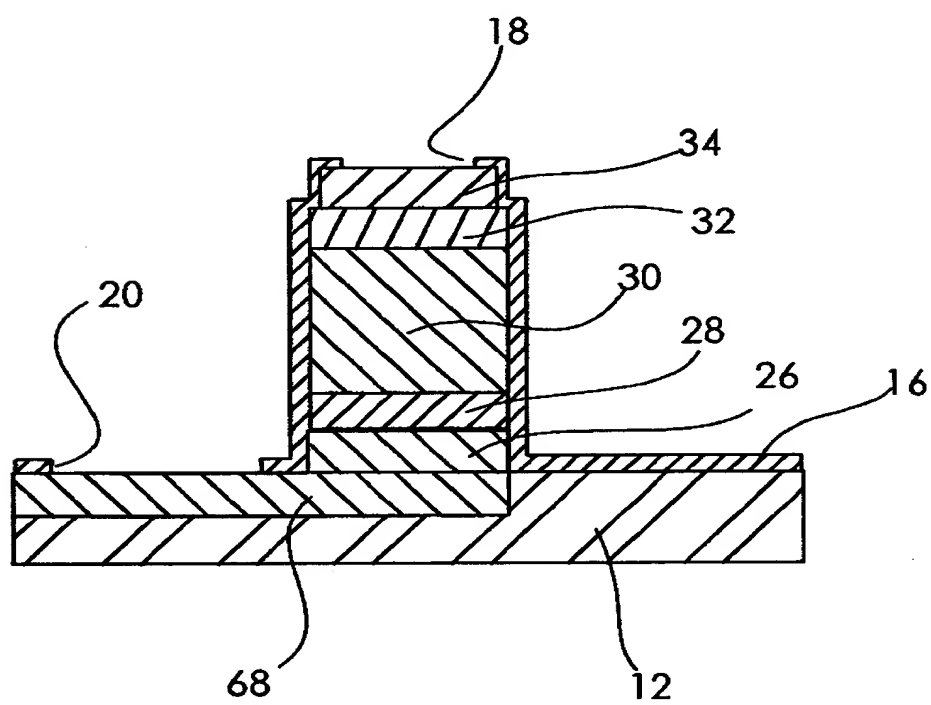
【図18】



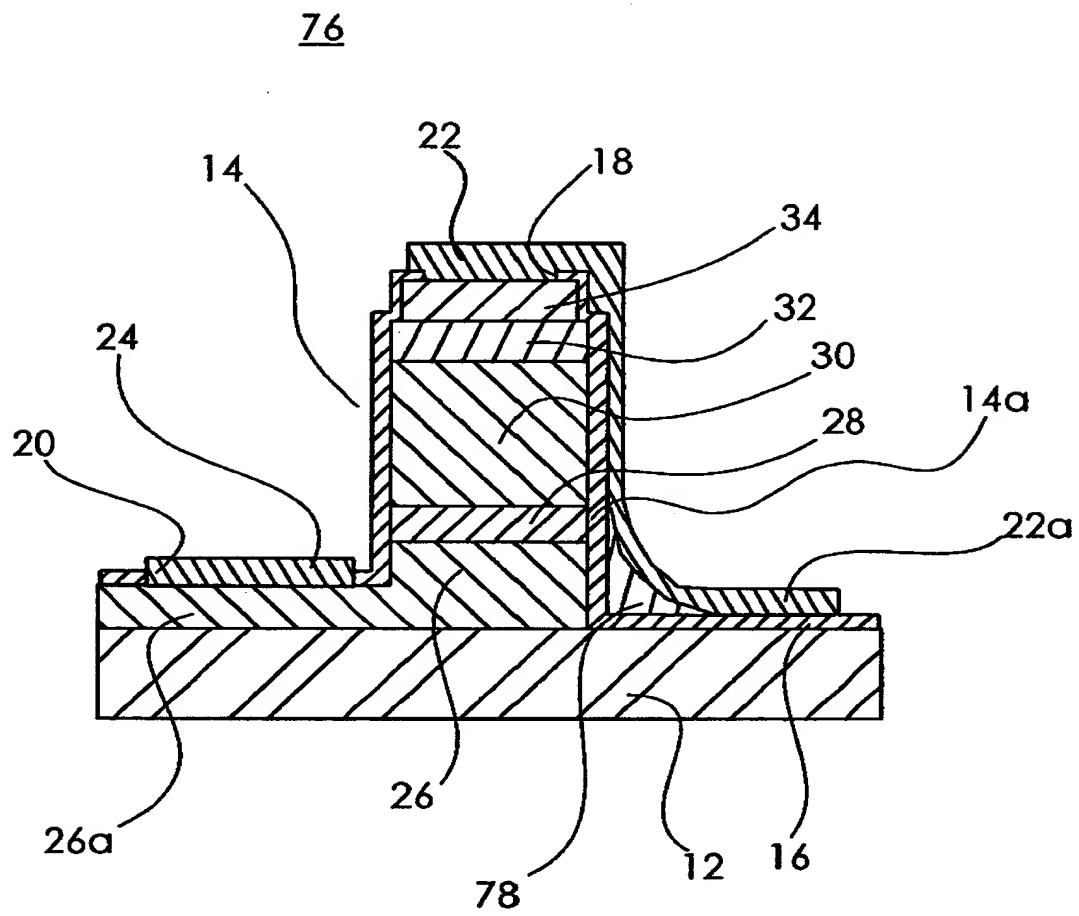
【図19】



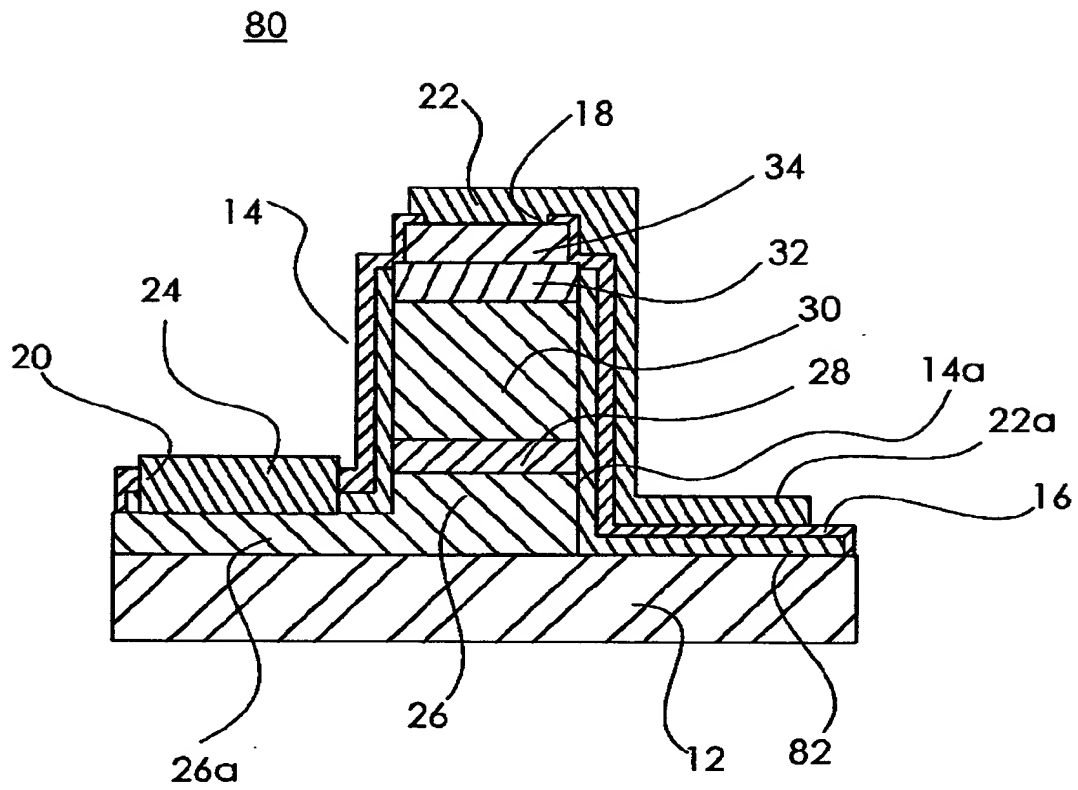
【図20】



【図 21】



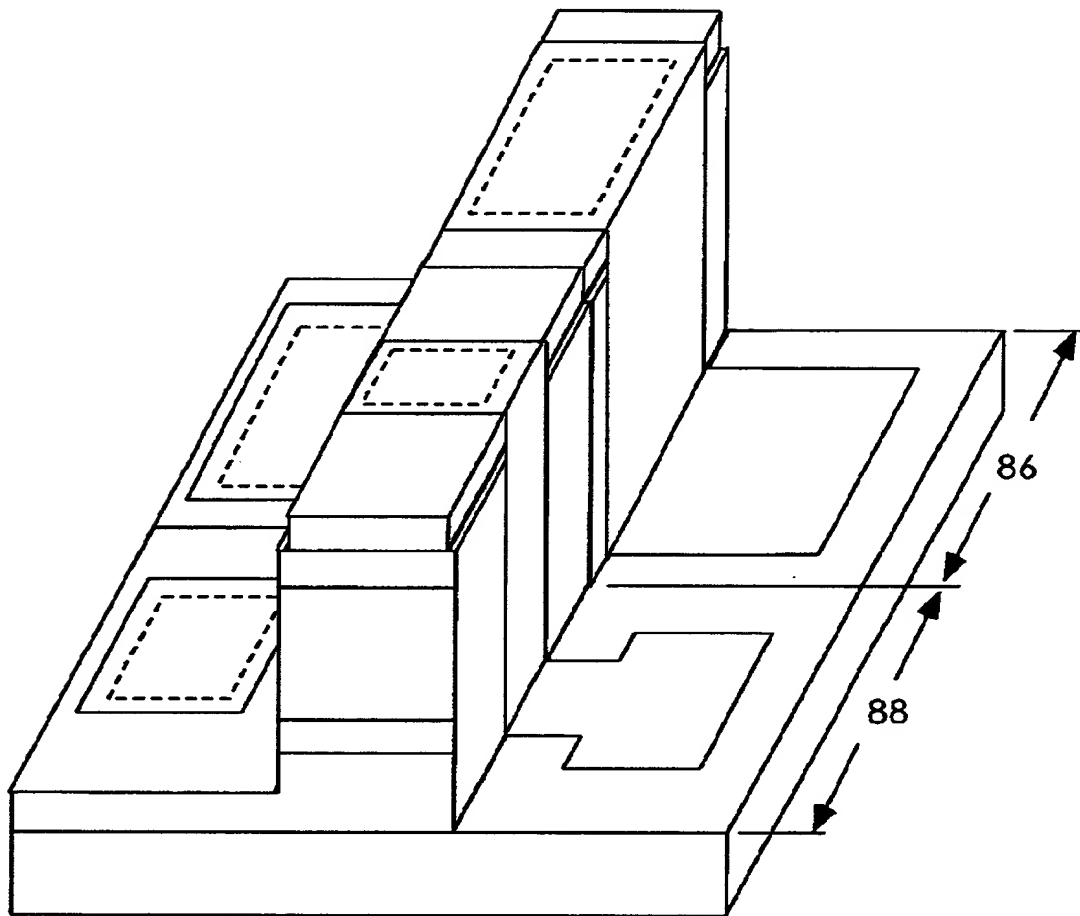
【図 2 2】



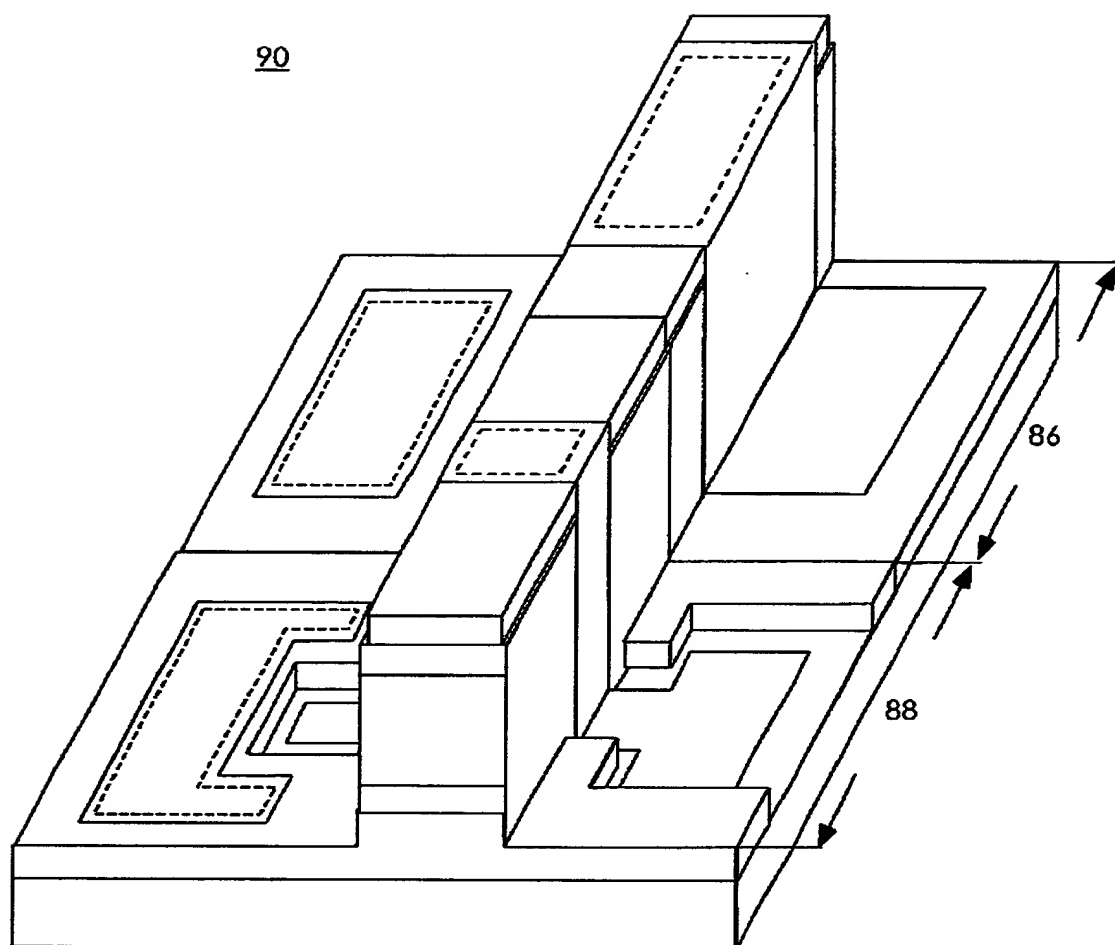


【図 23】

84

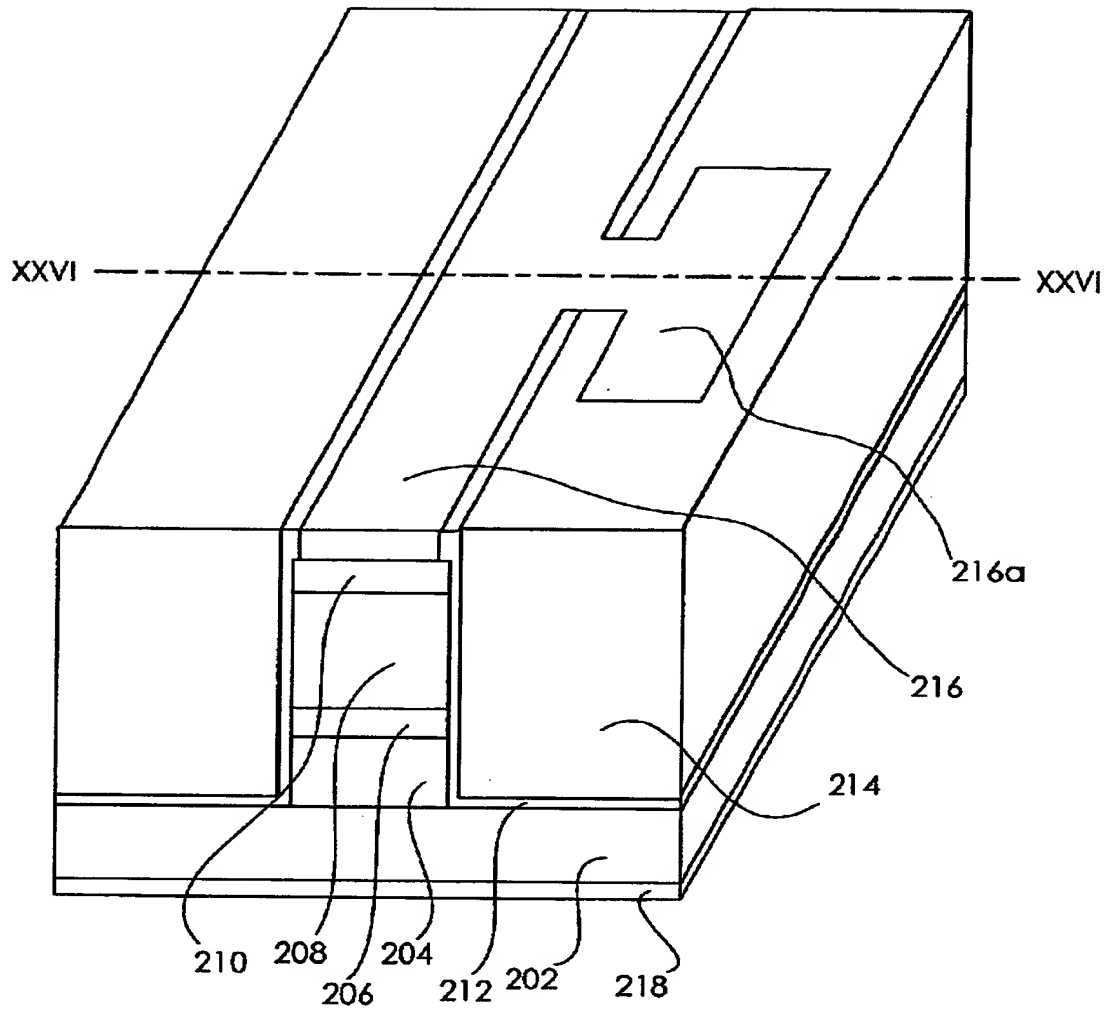


【図 24】

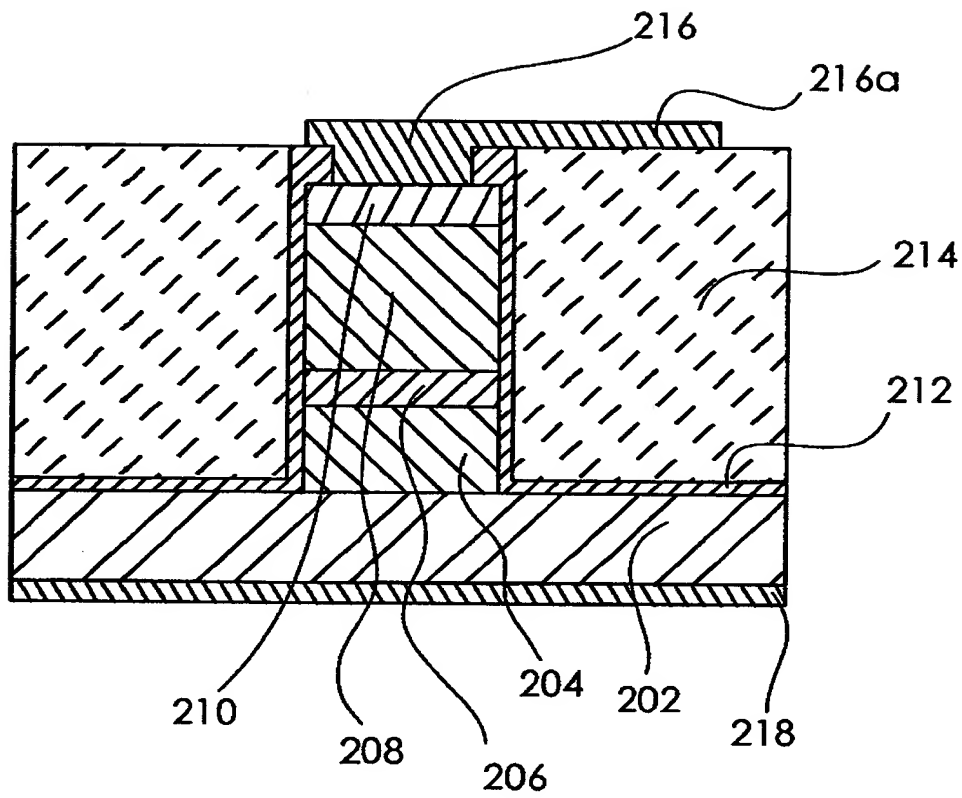


【図 25】

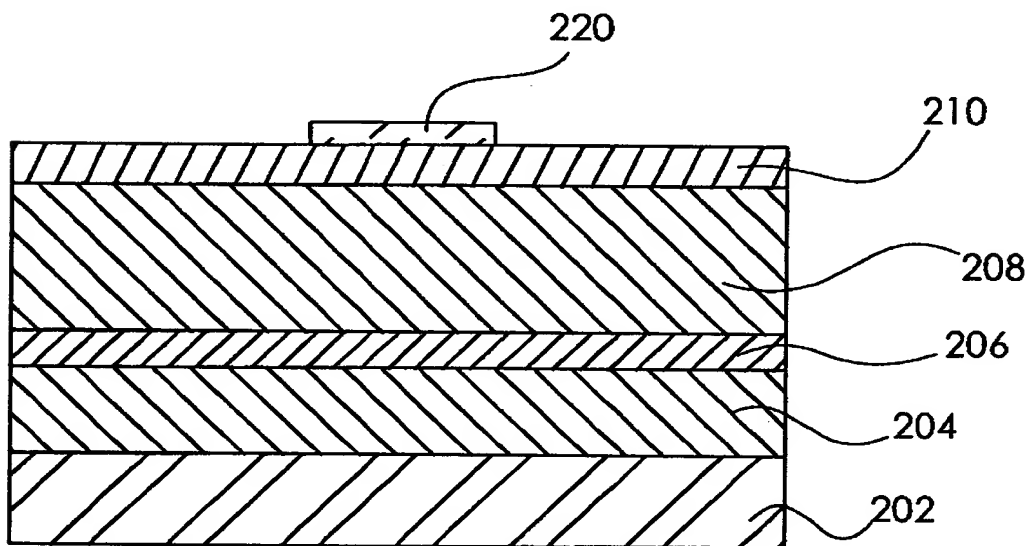
200



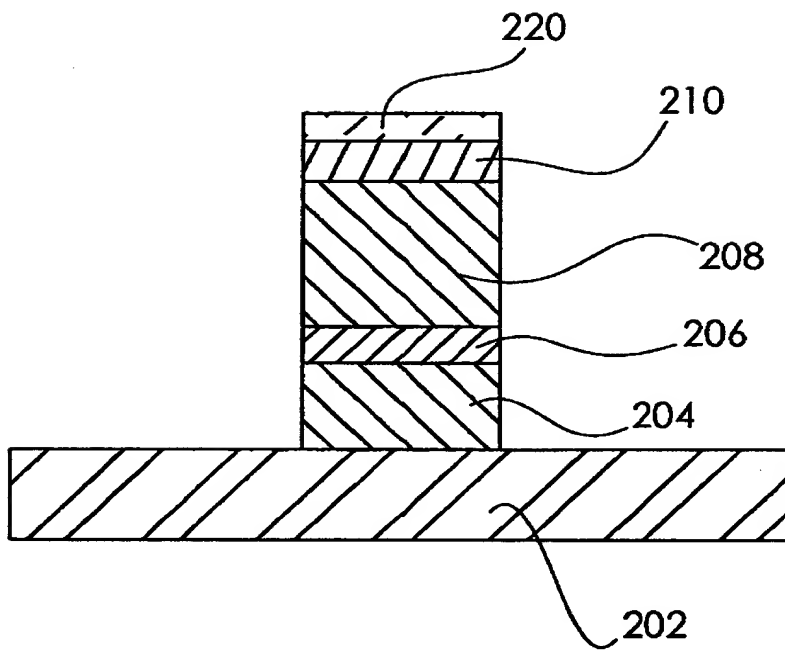
【図26】



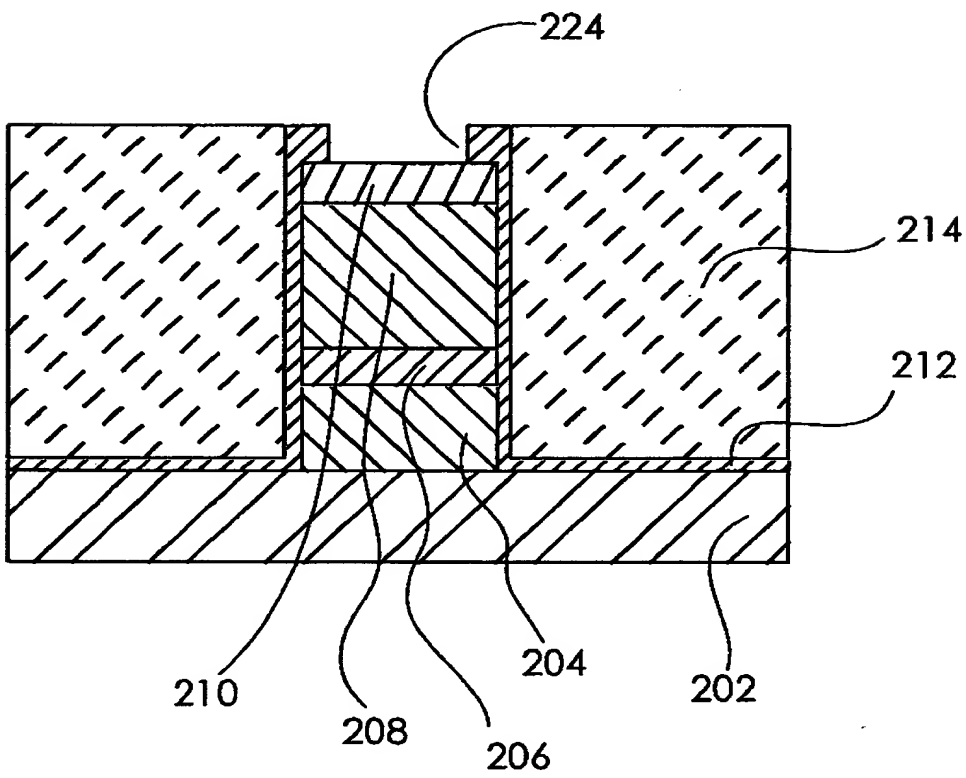
【図27】



【図 28】



【図 29】



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    光変調器の素子容量を少なくし高周波性能を向上させる。

【解決手段】    光導波路リッジ 1 4 の側面に、その頂部から半導体基板 1 2 表面まで一様に平坦な平坦部 1 4 a を設け、この平坦部 1 4 a が半導体基板 1 2 の露呈面に接触する様にし、光導波路リッジ 1 4 の頂部から側面上に誘電体膜 1 6 を介し、この誘電体膜 1 6 に密着させて p 側電極 2 2 を設け、さらに延在させて半導体基板の露呈面上に誘電体膜 1 6 を介して p 側電極 2 2 のボンディングパッド部 2 2 a を設けたものである。

【選択図】            図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
氏 名 三菱電機株式会社